MAHLE

Driven by performance

MANUAL TÉCNICO

CURSO MAHLE METAL LEVE
MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

AFTERMARKET

METAL LEVE®

MAHLE® ORIGINAL

Índice

1 Noções preliminares ..... Página 5
1.1. Objetivo do motor de combustão interna ..... Página 8
1.2. Normas técnicas ..... Página 9
1.3. Definições ..... Página 10

2 Descrição do funcionamento de motores ..... Página 17
2.1. Funcionamento dos motores de 4 tempos ..... Página 17
2.2. Funcionamento dos motores de 2 tempos ..... Página 19
2.3. Órgãos principais do motor ..... Página 20
2.4. Lubrificação do motor ..... Página 24
2.5. Sistema de alimentação do motor ..... Página 28
2.6. Sistema de ignição nos motores (Ciclo Otto) ..... Página 41
2.7. Sistema de arrefecimento ..... Página 43

3 Principais irregularidades dos motores a combustão interna ..... Página 47
3.1. Introdução ..... Página 47
3.2. Combustão ..... Página 47
3.3. Causas do baixo rendimento dos motores ..... Página 50

4 Pistões ..... Página 53
4.1. Objetivos e princípios de funcionamento ..... Página 53
4.2. Nomenclatura do pistão ..... Página 53
4.3. Tecnologia dos pistões ..... Página 57
4.4. Tipos de pistões ..... Página 64

5 Pino do pistão ..... Página 73
5.1. Introdução ..... Página 73
5.2. Fabricação ..... Página 73
5.3. Tipos de pinos ..... Página 75
5.4. Ajuste pino-pistão ..... Página 75
5.5. Descentralização do furo para pino do pistão ..... Página 77
5.6. Conclusão ..... Página 80

6 Falhas prematuras em pistões ..... Página 81
6.1. Falhas prematuras em pistões por erro de montagem ..... Página 81
6.2. Falhas prematuras por mau funcionamento do motor ..... Página 84

7 Anéis de pistão ..... Página 99
7.1. Objetivos e princípios de funcionamento ..... Página 99
7.2. Nomenclatura dos anéis de pistão ..... Página 99
7.3. Tecnologia dos anéis de pistão ..... Página 100
7.4. Tipos de anéis ..... Página 105

8 Falhas prematuras em anéis de pistão ..... Página 109
8.1. Falhas prematuras em anéis por erros de montagem ..... Página 109
8.2. Partículas estranhas no ar admitido ..... Página 111
8.3. Lubrificação insuficiente ..... Página 113
8.4. Outros fatores ..... Página 114

9 Camisas ..... Página 117
9.1. Objetivos e princípios de funcionamento ..... Página 117
9.2. Nomenclatura das camisas ..... Página 117
9.3. Tecnologia das camisas ..... Página 118
9.4. Tipos de camisas ..... Página 123

10 Falhas prematuras em camisas ..... Página 125
10.1. Falhas prematuras em camisas por erros de montagem ..... Página 125
10.2. Usinagem irregular do bloco e/ou cabeçote ..... Página 126
10.3. Outros fatores ..... Página 129

11 Bronzinas ..... Página 133
11.1. Objetivos e princípios de funcionamento ..... Página 133
11.2. Nomenclatura da bronzina ..... Página 135
11.3. Tecnologia de bronzinas ..... Página 136
11.4. Tipos de bronzinas ..... Página 140

12 Falhas prematuras em bronzinas ..... Página 144
12.1. Falhas prematuras em bronzinas por mau funcionamento ..... Página 144
12.2. Falhas prematuras em bronzinas por erros de montagem ..... Página 149
12.3. Montagem incorreta por falta de atenção ..... Página 158

13 Arruelas de encosto ..... Página 161
13.1. Objetivos e princípios de funcionamento ..... Página 161
13.2. Nomenclatura das arruelas ..... Página 161
13.3. Tecnologia de arruelas de encosto ..... Página 161

14 Buchas ..... Página 165
14.1. Objetivos e princípios de funcionamento ..... Página 165
14.2. Nomenclatura da bucha ..... Página 165
14.3. Tecnologia de buchas ..... Página 165

15 Falhas prematuras em buchas ..... Página 167
15.1. Falhas prematuras em buchas por erros de montagem ..... Página 167

16 Válvulas ..... Página 171
16.1. Objetivos e princípios de funcionamento ..... Página 171
16.2. Nomenclatura da válvula ..... Página 172
16.3. Processos de fabricação ..... Página 174
16.4. Tipos de válvulas ..... Página 176

17 Falhas prematuras em válvulas ..... Página 178

18 Tuchos ..... Página 185
18.1. Objetivos e princípios de funcionamento dos tuchos ..... Página 185
18.2. Nomenclatura dos tuchos ..... Página 187
18.3. Tecnologia dos tuchos ..... Página 188
18.4. Tipos de tuchos ..... Página 189

19 Falhas prematuras em tuchos ..... Página 191

20 Engrenagem sinterizada ..... Página 197
20.1. Objetivos e princípios de funcionamento ..... Página 197
20.2. Tecnologia das engrenagens sinterizadas ..... Página 197

21 Turbocompressor ..... Página 201
21.1. Objetivos e princípios de funcionamento ..... Página 201

22 Falhas prematuras em turbocompressores ..... Página 205

23 Noções gerais sobre outros tipos de motores ..... Página 211
23.1. Motor Wankel ..... Página 211
23.2. Motores adiabáticos ..... Página 213
23.3. Turbina a gás ..... Página 213
23.4. Motor de cilindrada variável ..... Página 217

Tabelas ..... Página 218

Anotações ..... Página 222

*TODOS OS DIREITOS RESERVADOS PARA A MAHLE METAL LEVE S.A. Proibida a comercialização e/ou reprodução total ou parcial desta obra, por qualquer meio ou processo, especialmente por sistemas gráficos, microfílmicos, fotográficos, reprográficos, fonográficos e videográficos. Vedada a memorização e/ou a recuperação total ou parcial, bem como a inclusão de qualquer parte desta obra em qualquer sistema de processamento de dados. Essas proibições também aplicam-se às características gráficas da obra e à sua editoração. A violação dos direitos autorais é punível como crime (art. 184 e parágrafos do Código Penal), com pena de prisão e multa, busca e apreensão e indenizações diversas (arts. 101 a 110 da Lei 9.610 de 19.02.1998, Lei dos Direitos Autoriais).

NOÇÕES PRELIMINARES

1 — Noções preliminares

Motor

Máquina destinada a converter qualquer forma de energia (térmica, elétrica, hidráulica, etc.) em energia mecânica. No caso dos motores de combustão interna, há transformação de energia térmica (queima de combustível) em energia mecânica.

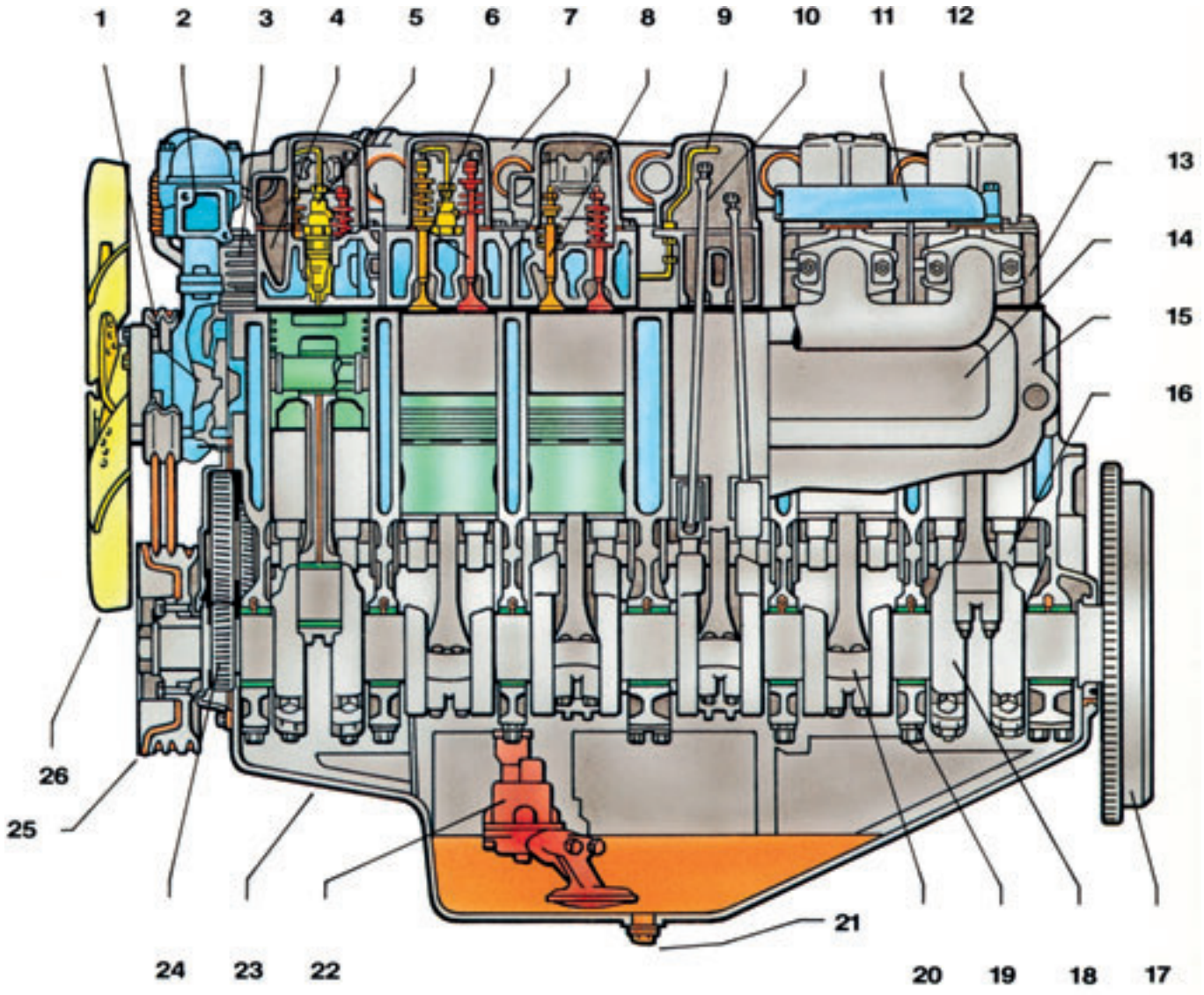


Fig. 1.1

01 — Bomba-d'água
02 — Termostato da água de refrigeração ou válvula termostática
03 — Compressor de ar
04 — Duto de admissão
05 — Bico injetor
06 — Válvula de escape
07 — Coletor de admissão
08 — Válvula de admissão
09 — Linha de injeção de combustível
10 — Vareta de válvula
11 — Duto de saída de água de refrigeração
12 — Tampa de válvula
13 — Cabeçote
14 — Tampa lateral do bloco
15 — Bloco do motor
16 — Eixo comando de válvulas
17 — Volante
18 — Eixo virabrequim
19 — Capa do mancal principal
20 — Biela
21 — Bujão de escoamento do óleo do cárter

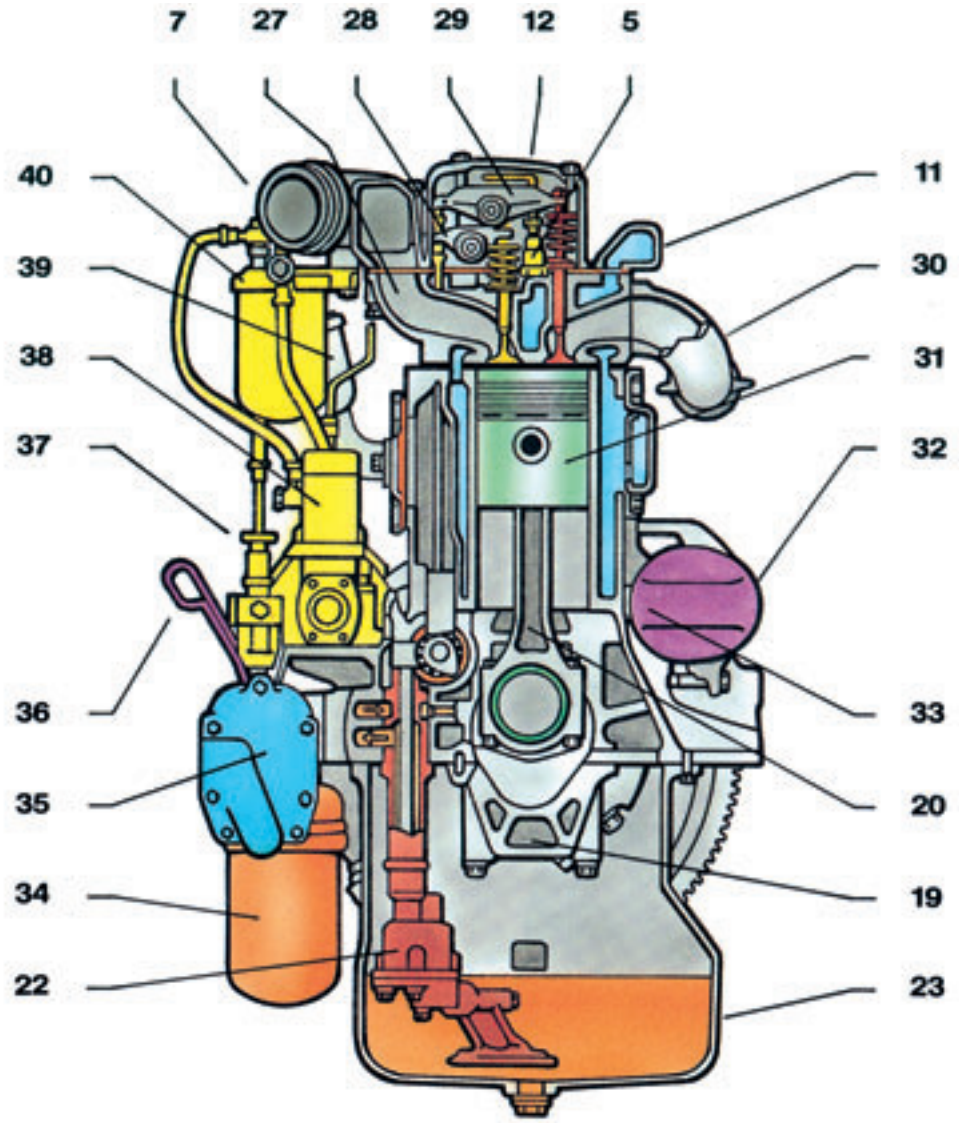


Fig. 1.2

22 — Bomba de óleo
23 — Cárter
24 — Engrenagem do eixo virabrequim
25 — Polia anti-vibradora
26 — Hélice
27 — Duto de admissão tangencial
28 — Balancim da válvula de admissão
29 — Balancim da válvula de escape
30 — Coletor de escape
31 — Pistão
32 — Motor de partida
33 — Dreno da água de refrigeração
34 — Filtro de óleo
35 — Radiador de óleo
36 — Vareta indicadora do nível de óleo
37 — Bomba manual de combustível
38 — Bomba injetora
39 — Respiro do cárter
40 — Filtro de combustível

1.1 — Objetivo do motor de combustão interna

Os motores de combustão interna tem por objetivo transformar energia térmica em energia mecânica, diretamente utilizável. Após a mistura combustível/ar ser comprimida na câmara de combustão de cada cilindro, inicia-se uma queima, a qual libera uma força contra a cabeça do pistão, forçando este a deslocar-se na direção do virabrequim (eixo de manivelas).

A biela, elemento de ligação entre o pistão e o virabrequim, transmite a força atuante na cabeça do mesmo (resultante da expansão dos gases) ao colo do virabrequim (moente), fazendo com que este gire. Converte assim o movimento retilíneo alternado do pistão em movimento rotativo do virabrequim (Fig. 1.3).

Entende-se por combustão a inflamação rápida da combinação do oxigênio com qualquer material combustível.

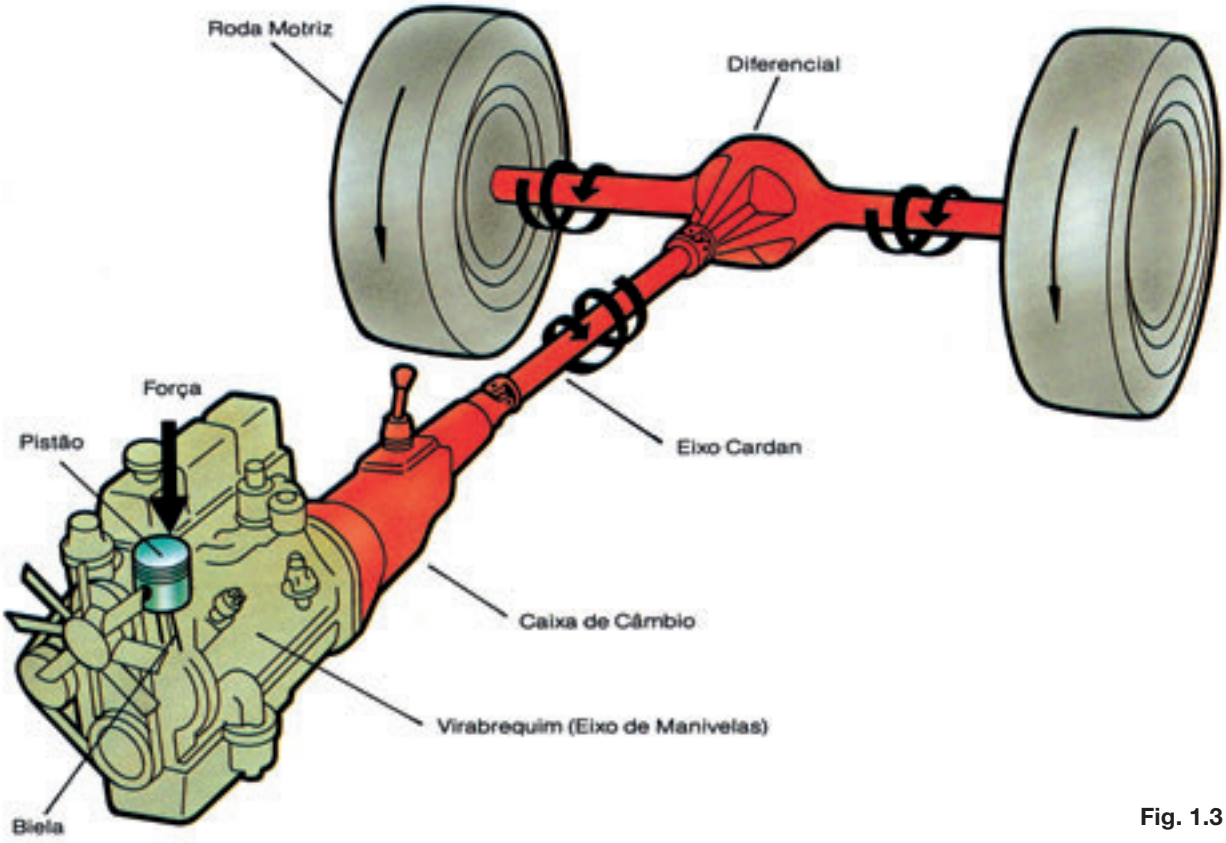


Fig. 1.3

Motor Ciclo Otto a gasolina
É o motor de combustão interna no qual a mistura (gasolina/ar) se inflama através de uma centelha elétrica, ocasionando a queima da mistura e a expansão dos gases.

Motor Ciclo Otto a álcool
É o motor de combustão interna no qual a mistura (álcool/ar) se inflama através de uma centelha elétrica, ocasionando a queima da mistura e a expansão dos gases.

Motor Ciclo Diesel
Neste tipo de motor de combustão interna, somente o ar é comprimido, sendo o combustível injetado no interior do cilindro, quando a compressão do ar está próxima do seu ponto máximo.

A elevação de temperatura e pressão no interior do cilindro inflama o óleo diesel na câmara de combustão.

1.2 — Normas técnicas

Normas são padrões que regem as informações técnicas sobre máquinas e motores em geral tais como: **nomenclatura**, **potência**, **torque**, etc.

Não existe ainda uma única norma técnica internacional, pois são várias as associações técnicas, cada uma delas possuindo suas próprias normas. Assim sendo, descreveremos abaixo as principais:

Norma ISO
Organização Internacional de Normalização. É a norma internacional geralmente usada no comércio entre países ou tomada por alguns países como texto base para a elaboração de sua norma nacional correspondente. Ela estabelece as características e o desempenho das peças e dos motores.

Norma INMETRO — ABNT
Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial — Associação Brasileira de Normas Técnicas.

É a norma brasileira publicada pelo INMETRO, discutida e elaborada pela ABNT — o fórum nacional de normalização que determina como deverão ser expressos os dados relativos ao desempenho dos motores. O motor deve ser ensaiado com todos seus equipamentos, conforme instalado no veículo, o que não impede que sejam apresentados dados referentes ao motor sem tais equipamentos.

Norma SAE
Society of Automotive Engineers
Norma inglesa e norte-americana que determina que seja o motor testado despido de seus equipamentos (bomba-d'água, dínamo, ventilador, etc.). Deverá porém estar regulado de maneira que a potência máxima seja obtida.

Norma DIN
Deutsche Industrie Normen
Norma alemã que determina o teste dos motores de forma a obterem-se resultados idênticos àqueles obtidos quando instalados em seus veículos, isto é, completamente equipados.

1.3 — Definições

Potência
Medida do trabalho realizado em uma unidade de tempo.

Dada pela expressão:

$$P = \frac{\text{força} \times \text{deslocamento}}{\text{tempo}}$$

A potência de um motor é expressa normalmente nas seguintes unidades:

kW — Quilowatt
É a unidade de potência do Sistema Internacional de Unidades. Por definição: um kW é a potência desenvolvida quando se realiza, contínua e uniformemente, um trabalho decorrente da aplicação de uma força necessária para elevar um peso de 100 quilos a uma distância de um metro em um segundo (Fig. 1.4).

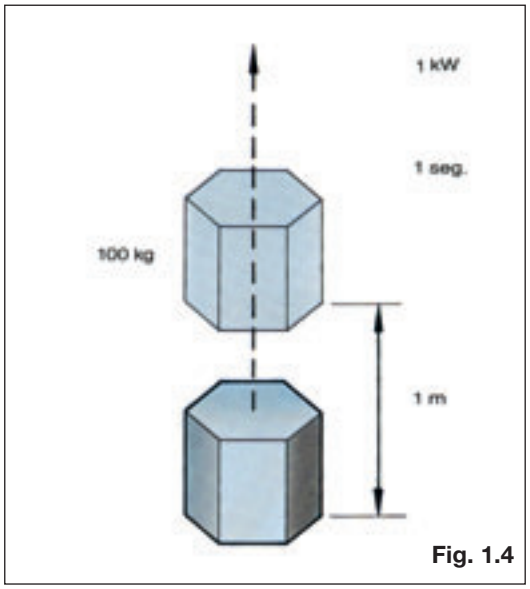


Fig. 1.4

HP — Horse Power
É a unidade de medida de potência da norma SAE. Por definição: um HP é a potência desenvolvida quando se realiza, contínua e uniformemente, um trabalho decorrente da aplicação de uma força necessária para elevar um peso de 33.000 libras (± 14.970 kg) a um pé (± 0,3 m) de altura em um minuto (Fig. 1.5).

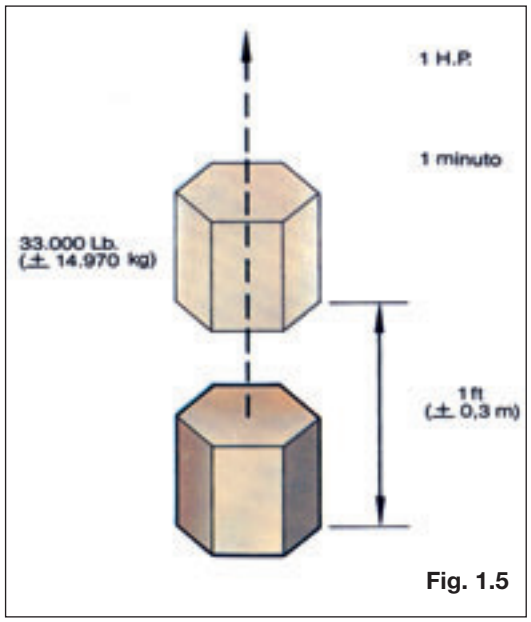


Fig. 1.5

CV — Cavalo-vapor
É a unidade de medida da norma DIN, para expressar a potência do motor. Por definição: um CV (ps) é a potência desenvolvida quando se realiza, contínua e uniformemente, um trabalho decorrente da aplicação de uma força necessária para elevar um peso de 75 kg a um metro de altura em um segundo (Fig. 1.6).

BHP — Brake Horse Power
É a potência útil ao freio. Representa a potência aproveitável medida no volante do motor, em um dinamômetro (Fig. 1.7).

Momento de uma força (torque)
Podemos definir momento de uma força em relação a um ponto, como sendo o produto desta força pela distância perpendicular do ponto à direção da força (Fig. 1.8).

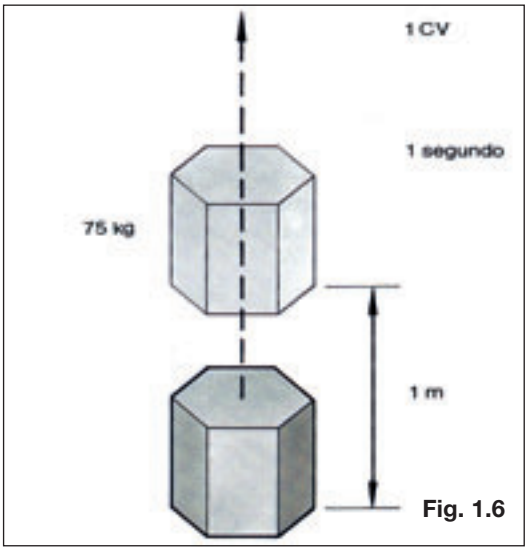


Fig. 1.6

Fig. 1.7

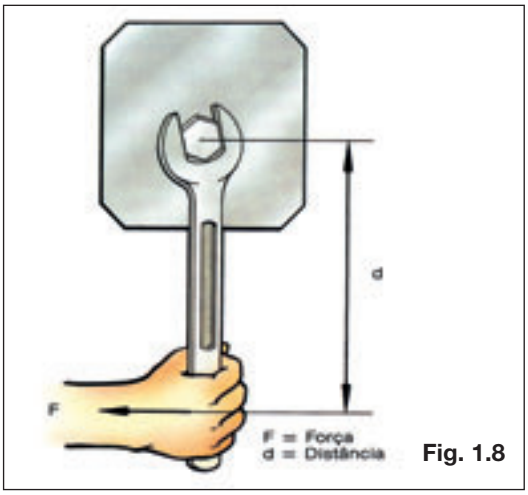


Fig. 1.8

O momento de uma força é expresso normalmente nas seguintes unidades:

Newton Metro (Nm)

Por definição, é o produto de uma força de 1 N, atuando perpendicularmente num braço de alavanca de comprimento igual a um metro.

Quilogrâmetro (kgf.m)

Por definição, é o produto de uma força de 1 kgf, atuando perpendicularmente num braço de alavanca de comprimento igual a um metro.

Libra.Pé (lb.ft)

Por definição, é o produto de uma força equivalente a uma libra, atuando perpendicularmente num braço de alavanca de comprimento igual a um pé.

Obs:

Chamamos a atenção para estas duas últimas unidades de torque, porque na prática as chaves de torque ou torquímetros estão geralmente graduados em uma destas duas unidades (Fig. 1.9).

Fig. 1.9

Torque do motor

No caso de motores de combustão interna o seu torque ou conjugado é o momento criado pela biela, devido à força de expansão dos gases, atuando sobre o virabrequim (Fig. 1.10).

O torque do motor pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$M = \frac{P \times K}{rpm}$$

Na qual:

M = torque do motor
P = potência do motor
K = constante que depende da unidade de potência, valendo:
K = 97,44 para potência em kW
K = 716,2 para potência em cv
K = 5.252 para potência em hp
rpm = velocidade de giro do motor em rotações por minuto.

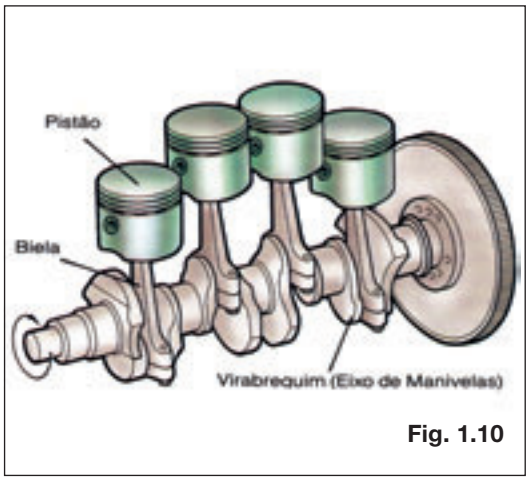


Fig. 1.10

A elevação da potência do motor é obtida com o aumento de sua rotação atingindo o seu máximo na rotação máxima, enquanto que o torque máximo do motor é obtido aproximadamente com a metade dessa rotação (Fig. 1.11).

CURVAS DE DESEMPENHO

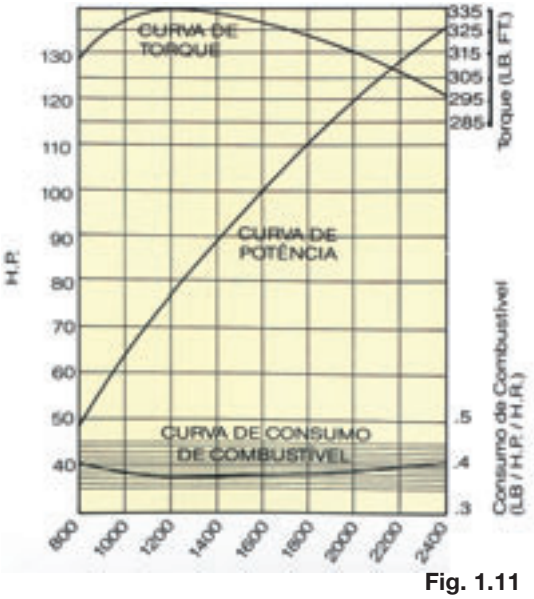


Fig. 1.11

Curso do Pistão

Distância que o pistão percorre entre o seu Ponto Morto Superior (PMS) e o seu Ponto Morto Inferior (PMI).

Chamamos Ponto Morto Superior ou Inferior os pontos onde o pistão inverte seu sentido de movimento.

Conseqüentemente, o curso do pistão é igual também ao diâmetro da circunferência percorrida pelo ponto central do colo do virabrequim (Fig. 1.12).

CURSO / DIÂMETRO

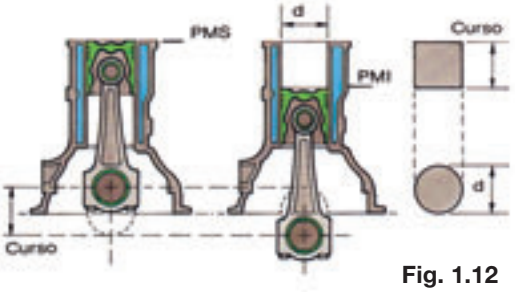


Fig. 1.12

Diâmetro

É a denominação usada para o diâmetro do cilindro (Fig. 1.12).

Cilindrada

É o volume total deslocado pelo pistão entre o PMI e o PMS, multiplicado pelo número de cilindros do motor. É indicado em centímetros cúbicos (cm^3) (Fig. 1.13) e a fórmula para calculá-la é a seguinte:

$$C = \frac{\pi \times d^2 \times curso \times N}{4}$$

Na qual:

π = constante = 3,14

d^2 = diâmetro ao quadrado (cm^2)

curso = distância entre os pontos mortos (PMS — PMI) (cm)

N = número de cilindros

4 = uma constante

CILINDRADA

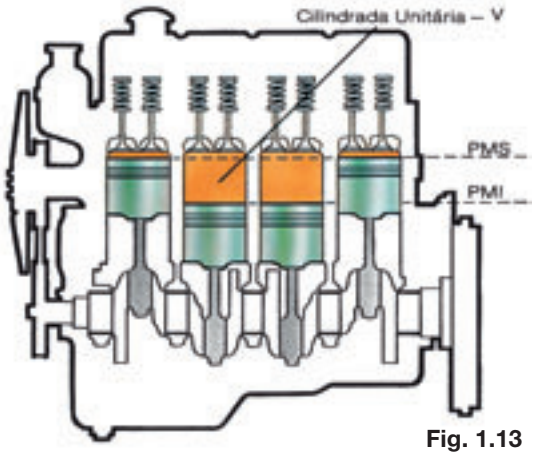


Fig. 1.13

Para maior compreensão vamos calcular a cilindrada de um motor que tem as seguintes características:

4 cilindros, cujo diâmetro é de 85,5 mm e o curso do pistão é 69,0 mm.

Podemos então calcular:

$$C = \frac{\pi \times d^2 \times curso \times N}{4}$$

d = 85,5 mm = 8,55 cm, logo, $d^2 = 73,1\ cm^2$

curso = 69 mm = 6,9 cm

N = 4

π = 3,14

Substituindo os valores:

$$C = \frac{3,14 \times 73,1 \times 6,9 \times 4}{4}$$

$= 1.584\ cm^3 = 1.600\ cm^3$

Obs.:

No caso de calcularmos o volume de um único cilindro, damos o nome de cilindrada unitária (V).

Câmara de compressão ou de combustão

É o volume existente no cabeçote e/ou no pistão, quando este se encontra no PMS (v) (Fig. 1.14).

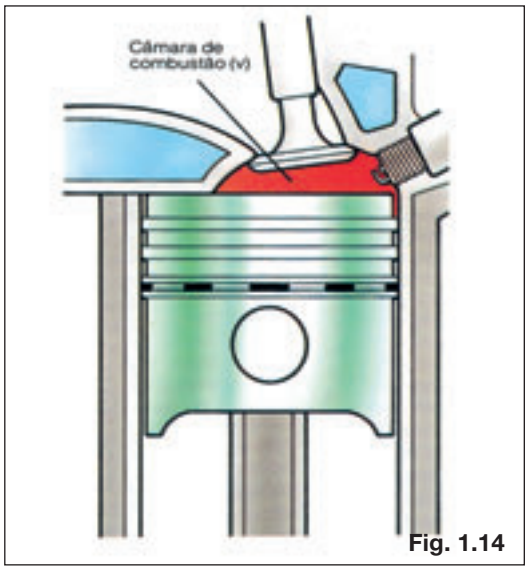


Fig. 1.14

Taxa de compressão (relação de compressão)

Corresponde à relação entre

$$\frac{\text{Volume do cilindro + volume da câmara de combustão}}{\text{volume da câmara de combustão}}$$

Sendo "V" o volume de um cilindro e "v" o volume da câmara de combustão de um cilindro, temos:

Taxa de compressão $\mathbf{TC = \frac{V + v}{v}}$

Se no caso anterior admitirmos que o motor tenha uma câmara de combustão com 64,0 cm^3, pergunta-se qual a taxa de compressão?

Temos: $\mathbf{V = \frac{C}{N}}$

Na qual:

C = cilindrada do motor
N = nº de cilindros
V = volume de um cilindro (cilindrada unitária)

C = 1.584 cm^3
N = 4 (motor de 4 cilindros)
$V = \frac{1.584\ cm^3}{4} = 396,0\ cm^3$

Então:

$TC = \frac{V + v}{v}$

Na qual:

V = 396,0 cm^3
V = 64,0 cm^3

Substituindo os valores:

$TC = \frac{396,0 + 64,0}{64,0} \cong 72$

Normalmente a taxa de compressão é dada na forma 6:1 ou 7:1, em que se lê "seis por um" ou "sete por um".

Portanto, no exemplo acima temos 7,2:1, ou seja, sete vírgula dois por um.

Para explicar tal fato, vamos ilustrar o assunto para maior facilidade de compreensão (Fig. 1.15).

Observamos que a forma de cálculo acima da taxa de compressão é aproximada, pois não foram considerados os volumes da espessura da junta do cabeçote bem como o volume existente entre a cabeça do pistão e o cilindro acima do 1º anel de compressão.

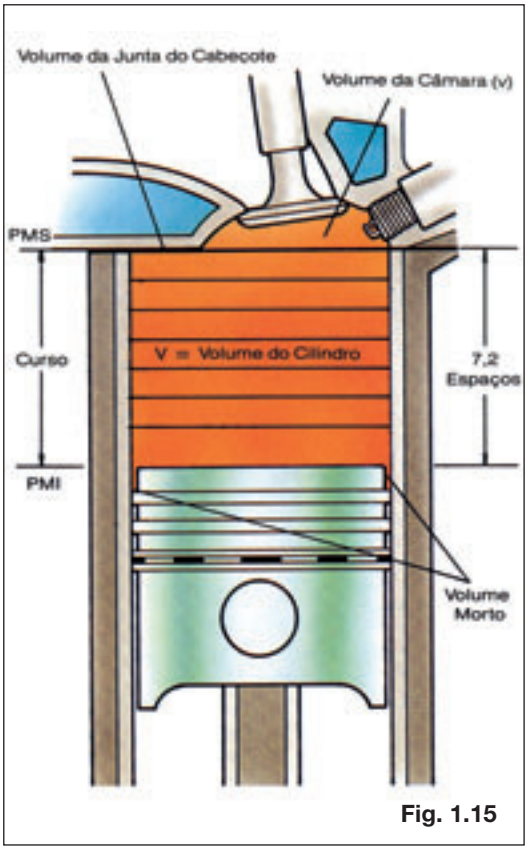


Fig. 1.15

Eficiência volumétrica

É a relação entre o enchimento teórico e o enchimento real do cilindro quando da admissão.

Eficiência térmica

É a relação entre a energia térmica convertida em trabalho pelo motor dividida pela energia térmica total gerada nas câmaras de combustão.

É interessante saber que apenas uma pequena parcela de energia térmica produzida pelo motor é convertida em trabalho.

A maior parte da energia produzida pela combustão (energia potencial da combustão) é desviada ou perdida, pois, além das perdas do calor eliminado pelos sistemas de escapamento, arrefecimento e de lubrificação, existem ainda, no caso de aplicação veicular, as perdas pelos atritos dos pneus, embreagem, transmissão, etc. No caso de aplicação veicular são convertidos em trabalho produtivo apenas 17% da energia térmica, nos veículos a gasolina e a álcool, e 25% (aproximadamente) da mesma energia nos veículos diesel.

DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO DE MOTORES

2 — Descrição do funcionamento de motores

2.1 — Funcionamento dos motores de quatro tempos

Ciclo Otto

1º Tempo: Admissão

À medida que o pistão move-se do PMS para o PMI, a válvula de admissão se abre e a mistura de ar e combustível vaporizada é aspirada para o interior do cilindro. O virabrequim efetua meia volta (180°).

2º Tempo: Compressão

A seguir, a válvula de admissão fecha-se. À medida que o pistão desloca-se para o PMS, comprime a mistura de combustível e ar. O virabrequim executa outra meia volta, completando a primeira volta completa (360°).

3º Tempo: Combustão

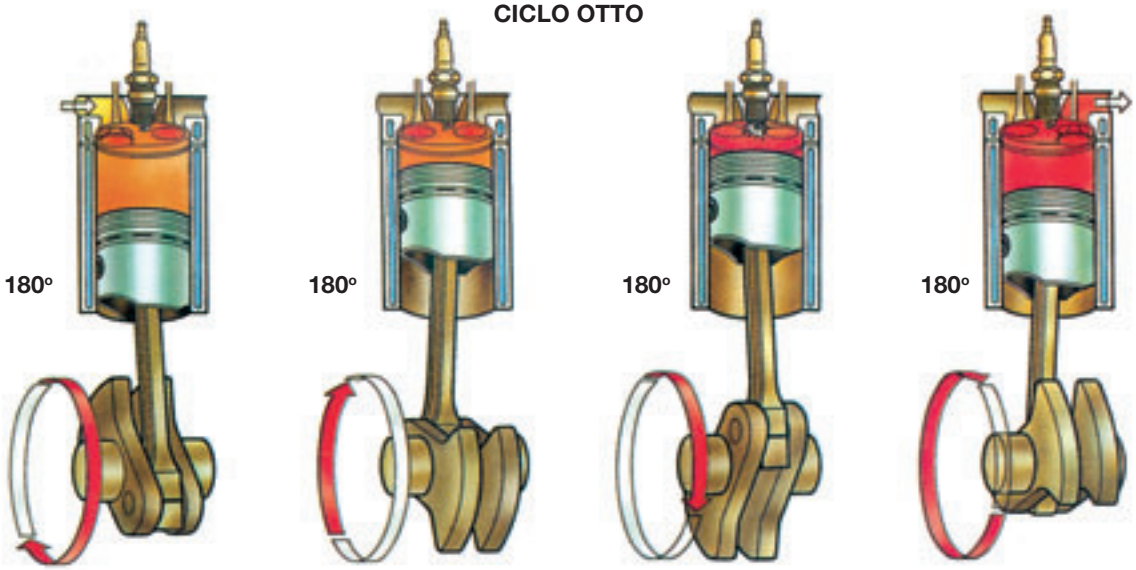
Pouco antes do pistão atingir o PMS, o sistema de ignição transmite corrente elétrica à vela, fazendo saltar uma centelha entre os eletrodos desta, que inflama a mistura fortemente comprimida. Os gases em expansão, resultantes da combustão, forçam o pistão do PMS para o PMI. O virabrequim efetua outra meia volta (540°).

4º Tempo: Escape

Depois da queima da mistura e expansão dos gases, a válvula de escape se abre. Os gases queimados são forçados para fora do cilindro, quando o pistão se movimenta do PMI para o PMS. O virabrequim executa outra meia-volta, completando a segunda volta completa (720°).

Uma vez que o pistão realiza quatro tempos — admissão, compressão, combustão e escape — o nome técnico dessa operação é ciclo de quatro tempos.

É importante salientar que nos motores de quatro tempos, somente no tempo de COMBUSTÃO, se produz energia mecânica, enquanto que os outros três são passivos, isto é, absorvem energia (Fig. 2.1).



1º Tempo: Admissão | 2º Tempo: Compressão | 3º Tempo: Combustão | 4º Tempo: Escape — Fig. 2.1

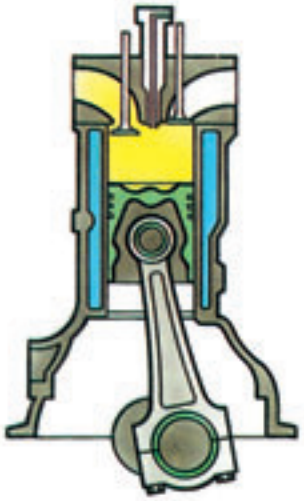
Ciclo Diesel

Nos motores tipo diesel há somente admissão de ar puro, que ao ser comprimido pelo pistão se aquece o suficiente para inflamar o óleo diesel pulverizado no interior da câmara de combustão. Tem seu funcionamento semelhante ao do motor à gasolina.

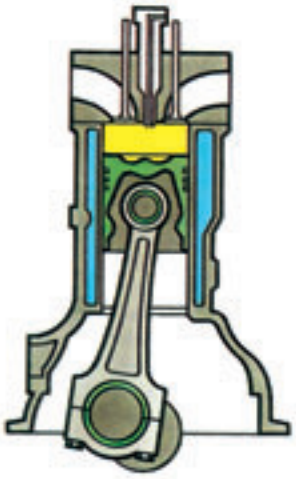
Assim, temos no motor diesel (Fig. 2.2):

1º tempo — Admissão (de ar puro);
2º tempo — Compressão (de ar puro);
3º tempo — Combustão (pulverização de óleo diesel e expansão dos gases);
4º tempo — Escape (dos gases queimados).

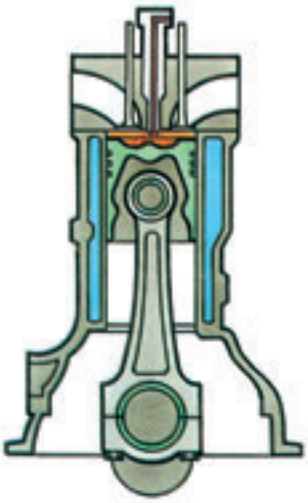
CICLO DIESEL



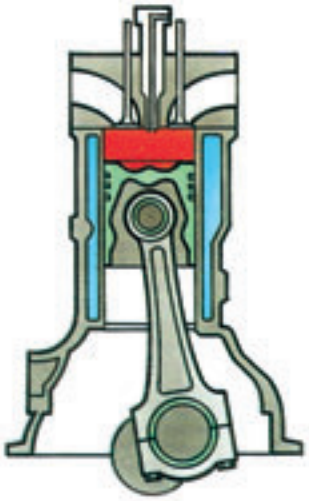
Admissão



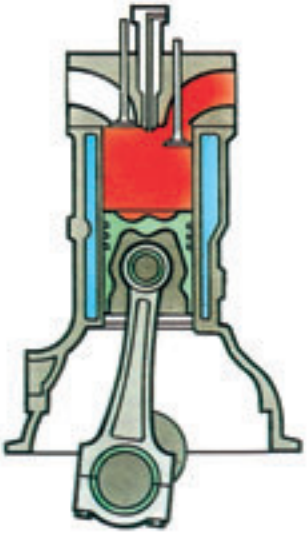
Compressão



Combustão (Pulverização)



Combustão (Expansão)



Escape **Fig. 2.2**

2.2 — Funcionamento dos motores de dois tempos

Motor a gasolina ou a álcool

Os motores deste tipo combinam em dois cursos as funções dos motores de quatro tempos. Sendo assim, há um curso motor para cada volta do virabrequim.

Ocorrendo a combustão, o pistão é impulsionado para baixo, fornecendo trabalho. Ao mesmo tempo, comprime no cárter a mistura que vai ser utilizada no tempo seguinte. Continuando a descer, o pistão descobre as janelas de escape, por onde são expelidos os gases queimados. Simultaneamente, descobre também as janelas de transferência da mistura sob pressão existente no cárter para o cilindro onde é comprimida e queimada, repetindo-se o ciclo (Fig. 2.3).

Motor diesel

Os motores diesel de dois tempos têm funcionamento semelhante ao motor de dois tempos a gasolina ou a álcool, porém, admitem apenas ar puro, geralmente forçado no interior do cilindro por um compressor de baixa pressão (volumétrico). Possui também um sistema de lubrificação forçada idêntica à dos motores de quatro tempos.

MOTOR DE DOIS TEMPOS

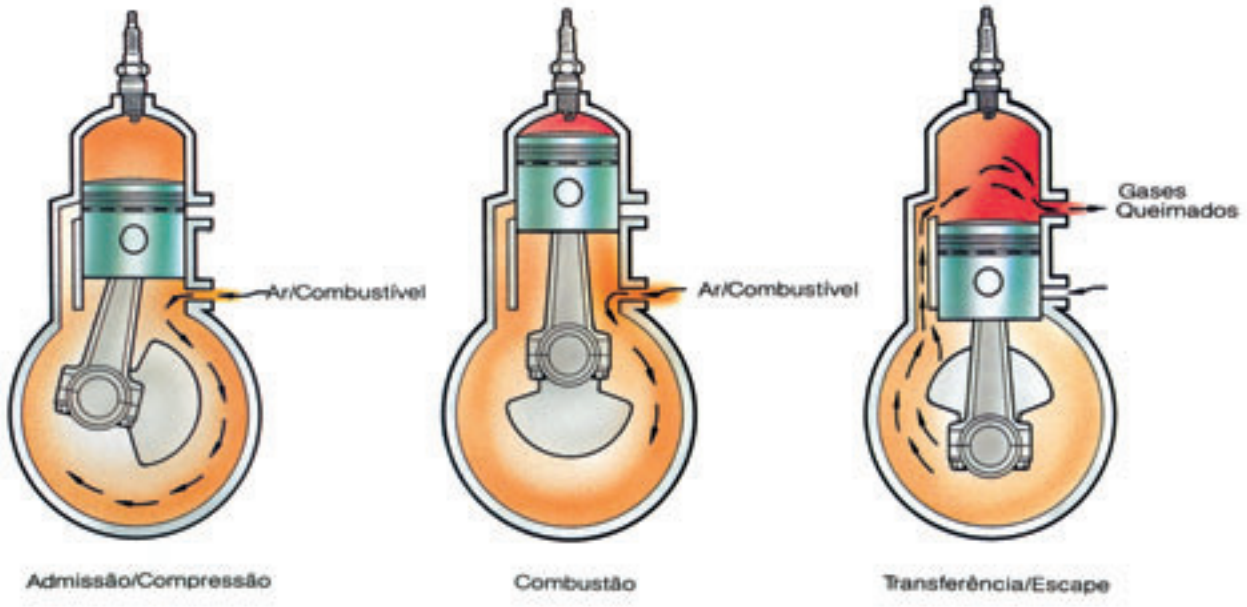


Fig. 2.3

2.3 — Órgãos principais do motor

Neste item vamos procurar definir e explicar as funções dos principais componentes do motor. A fim de facilitar sua compressão, vamos apresentá-los conforme a seqüência abaixo.

Estacionários

- Bloco
- Cabeçote
- Cárter
- Coletor de Admissão
- Coletor de Escape

Móveis

- Biela
- Pistão/Anel
- Virabrequim
- Eixo comando de válvulas
- Válvulas
- Conjunto de acionamento das válvulas
- Polia e anti-vibrador
- Bomba de óleo
- Bomba-d'água

Órgãos estacionários

Bloco

É o motor propriamente dito, no qual estão localizados os cilindros ou os furos para a colocação das camisas (Fig. 2.4).

Os motores arrefecidos a ar levam cilindros aletados separados do bloco.

Na parte inferior do bloco estão localizados os alojamentos dos mancais centrais onde se apóia o virabrequim e em muitos casos o eixo comando de válvulas. Nos motores horizontais de cilindros contrapostos, o virabrequim está posicionado no centro do bloco (carcaça). Este por sua vez é composto de duas partes justapostas, fixadas por parafusos.

Cabeçote

Serve de tampa dos cilindros, contra a qual o pistão comprime a mistura combustível/ar. Suporta o conjunto de válvulas e em alguns casos também o eixo comando de válvulas (Fig. 2.4).

Cárter

Tampa inferior do bloco, que protege os componentes inferiores do motor. É onde está depositado o óleo lubrificante (Fig. 2.4).

Coletor de admissão

Recebe e distribui aos cilindros a mistura (Ciclo Otto) ou o ar (Ciclo Diesel) aspirado pelo pistão, através do filtro de ar.

Coletor de escape

Recebe os gases queimados para lançá-los à atmosfera através do tubo de escape e silencioso.

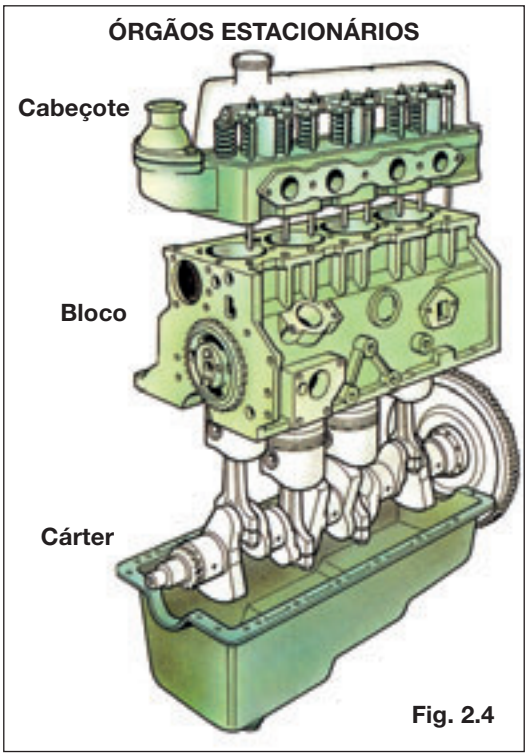


Fig. 2.4

Órgãos móveis

Biela

Braço de ligação entre o pistão e o virabrequim; recebe o impulso do pistão, transmitindo-o ao virabrequim. É importante salientar que este conjunto transforma o movimento retilíneo alternado do pistão em movimento rotativo do virabrequim (Fig. 2.5).

Pistão

É a parte móvel da câmara de combustão. Recebe a força de expansão dos gases queimados, transmitindo-a à biela, por intermédio de um pino de aço (pino do pistão). Em geral o pistão é fabricado em liga de alumínio (Fig. 2.5).

Anéis

Compensam a folga entre o pistão e o cilindro, dando a vedação necessária para uma boa compressão do motor e um melhor rendimento térmico (Fig. 2.5).

Virabrequim ou eixo de manivelas ou árvores de manivelas

Eixo motor propriamente dito, o qual na maioria das vezes é instalado na parte inferior do bloco, recebendo ainda as bielas que lhe imprimem movimento.

Somente em motores de grande porte o virabrequim é instalado no cárter (Fig. 2.6).

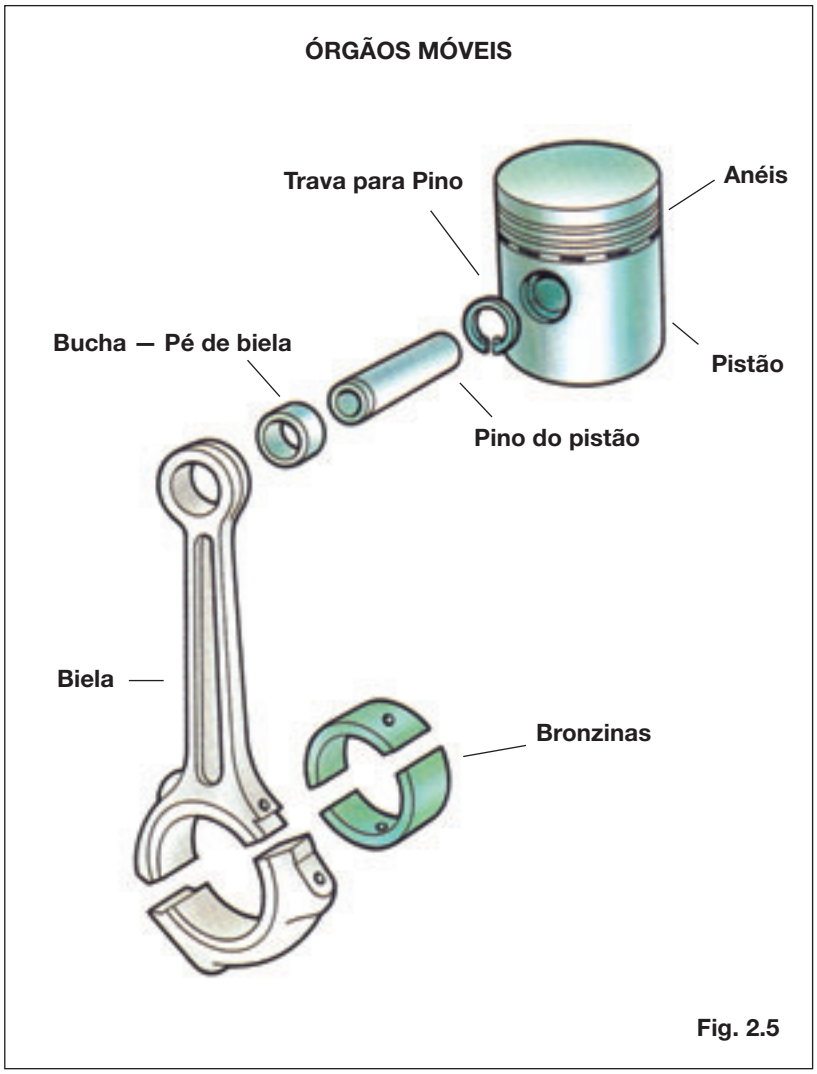


Fig. 2.5

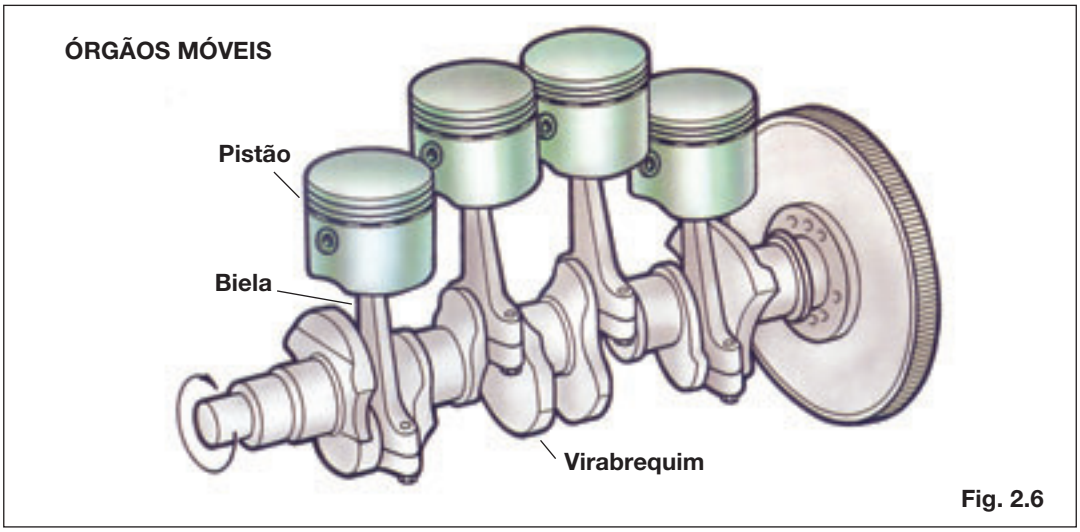


Fig. 2.6

Eixo Comando de Válvula

A função deste eixo é abrir as válvulas de admissão e escape. É acionado pelo virabrequim, através de engrenagem ou corrente, ou ainda correia dentada (Fig. 2.7).

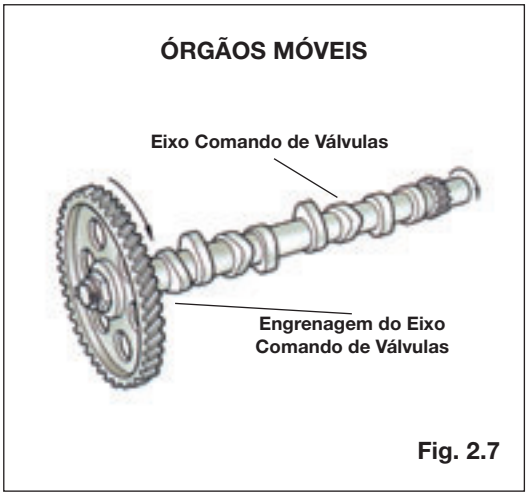


Fig. 2.7

Válvulas

Válvula de Admissão: tem a finalidade de permitir a entrada da mistura combustível/ar (somente ar no motor diesel) no interior do cilindro.

Válvula de Escape: tem a finalidade de permitir a saída dos gases queimados.

Conjunto de acionamento das válvulas

Compreende o tucho e uma haste, que o interliga ao balancim, sendo que este atua diretamente sobre a válvula. No momento em que o eixo comando de válvulas gira, o ressalto deste aciona o tucho, que por sua vez move a haste, fazendo com que o balancim transmita o movimento à válvula, abrindo-a.

Há um conjunto destes (tucho, haste e balancim) para cada ressalto, isto é, um para cada válvula, tanto de admissão quanto de escape. O conjunto de acionamento das válvulas pode ser acionado através de engrenagem (Fig. 2.8), corrente ou correia dentada (Fig. 2.9).

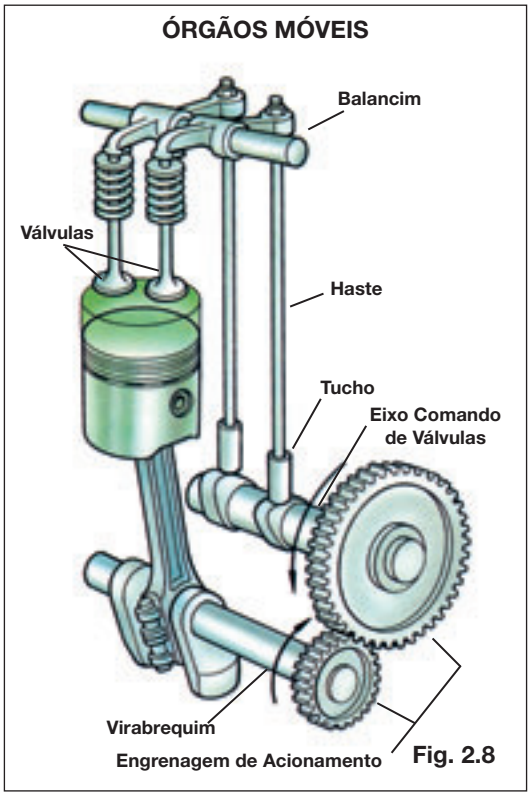


Fig. 2.8

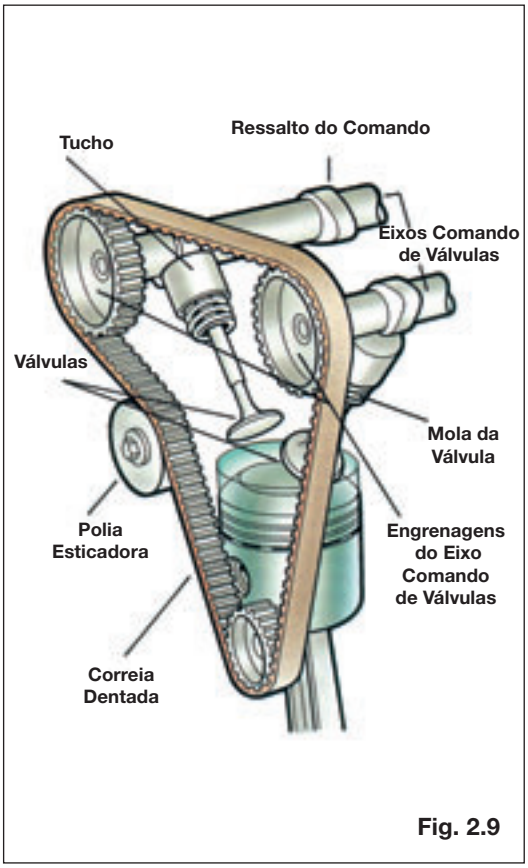


Fig. 2.9

Polia e anti-vibrador ou compensador harmônico

Transmite, através de correia, o movimento de rotação do virabrequim ao alternador e à bomba, e absorve as vibrações do funcionamento do motor.

Bomba de óleo

Mecanismo cuja finalidade é bombear o óleo do cárter e enviá-lo, sob pressão, aos diversos pontos do motor que necessitam de lubrificação. Existem vários tipos de bombas de óleo, sendo a de engrenagem a mais utilizada (Figs. 2.10 e 2.11).

BOMBA ROTATIVA

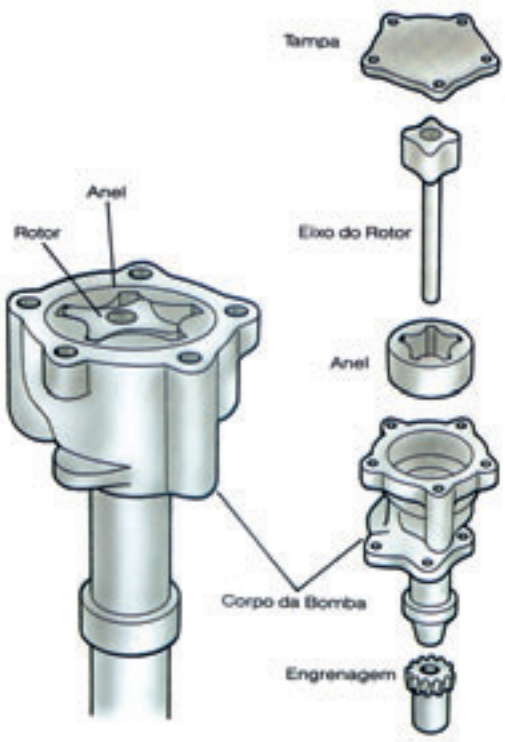


Fig. 2.11

BOMBA DE ENGRENAGENS

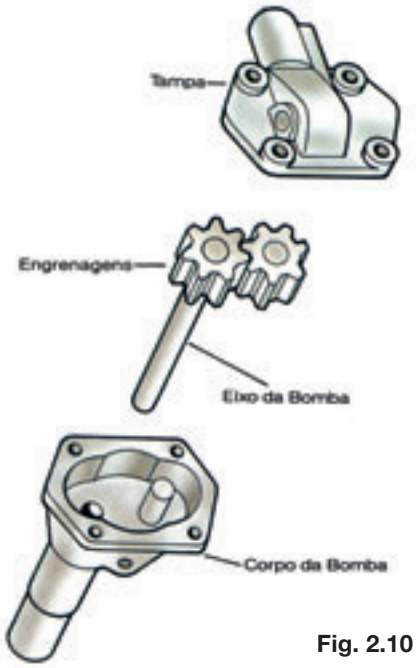


Fig. 2.10

Bomba-d'água

Mecanismo destinado a efetuar a circulação de água pelo motor e radiador, para arrefecimento do motor (Fig. 2.12).

BOMBA-D'ÁGUA

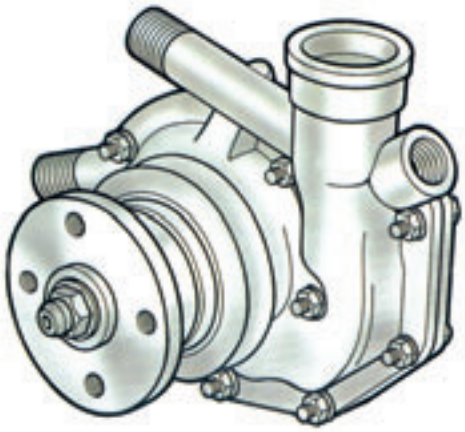


Fig. 2.12

2.4 — Lubrificação do motor

O propósito do sistema de lubrificação do motor é duplo, a saber:

- reduzir a um mínimo o atrito;
- reduzir a um mínimo o calor gerado, mantendo a temperatura das peças móveis dentro dos limites toleráveis.

Órgãos e fatores do sistema de lubrificação

O sistema de lubrificação de um motor é composto por diversos componentes que fazem circular o óleo no sistema, controlam a pressão do mesmo e fazem a sua filtragem, de maneira que haja uma lubrificação adequada em todas as áreas de atrito sob as diversas condições de operação. A seguir, damos uma lista dos principais componentes e fatores que influem no funcionamento correto do sistema de lubrificação.

- Filtro de sucção
- Bomba de óleo
- Válvula aliviadora de pressão
- Filtro de óleo
- Métodos para filtragem do óleo
- Folga de lubrificação das bronzinas e das buchas

FILTRO DE SUCÇÃO

Fig. 2.13

Filtro de sucção

O filtro de sucção se acha localizado na entrada da bomba de óleo. Protege a bomba de partículas grandes que podem causar um desgaste excessivo.

O filtro de sucção, quando está obstruído, pode chegar a impedir a circulação do óleo, através do motor.

O resultado desta falha de lubrificação será um desgaste excessivo, podendo causar a destruição definitiva de algumas peças (Fig. 2.13).

Bomba de óleo

A bomba de óleo fornece óleo sob pressão para todas as partes do motor que assim o requerem.

Válvula de alívio de pressão de óleo

Geralmente a bomba de óleo em um motor tem capacidade para bombear uma quantidade de óleo muito maior que a requerida.

Portanto, existe no sistema de lubrificação uma válvula de alívio de pressão, com o objetivo de regular o fluxo de óleo, de maneira que se mantenha sempre a pressão requerida.

A pressão excessiva nos motores faz com que a válvula de alívio se abra, permitindo que o excesso de óleo regresse ao cárter (Fig. 2.14).

VÁLVULA DE ALÍVIO DE PRESSÃO DE ÓLEO

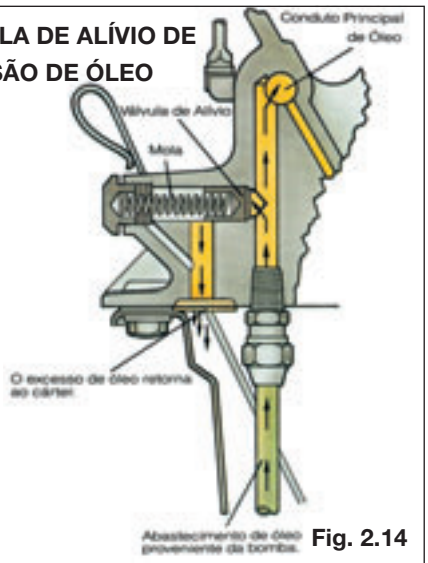

Conduto Principal de Óleo
Válvula de Alívio
Mola
O excesso de óleo retorna ao cárter
Abastecimento de óleo proveniente da bomba.

Fig. 2.14

Filtro de óleo

O filtro de óleo tem a finalidade de reter impurezas em suspensão no óleo lubrificante, evitando o desgaste prematuro das peças do motor (Fig. 2.15).

Métodos para filtragem do óleo

FILTRO DE ÓLEO

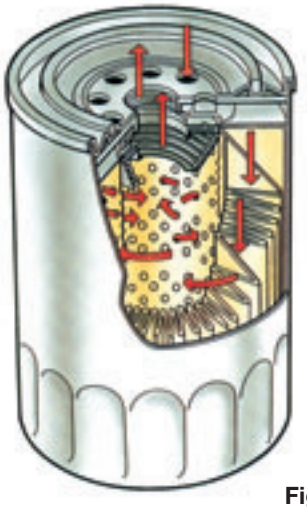


Fig. 2.15

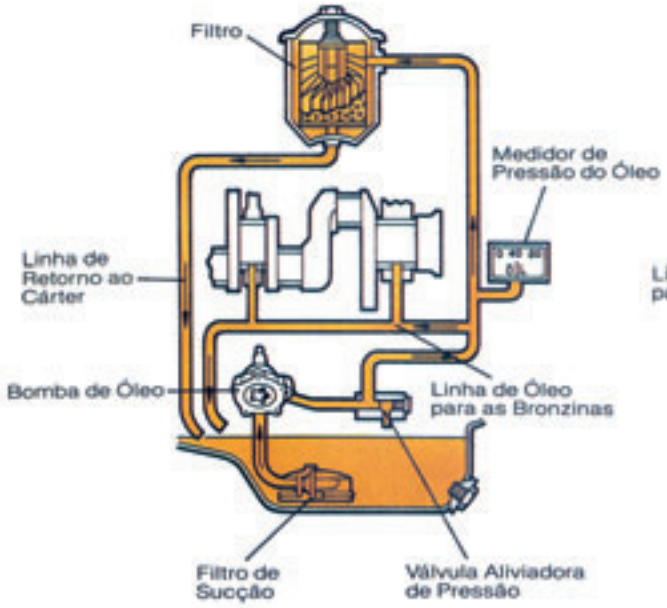
Nos motores mais antigos era usado o que se conhece com o nome de “Sistema de Derivação”, no qual o óleo se desvia pela válvula aliviadora de pressão e passa através do filtro de óleo em seu retorno ao cárter. Outras variações deste mesmo método, incluídas na mesma categoria, são aquelas em que só uma parte do óleo que circula pelo sistema passa através do filtro de óleo. Por exemplo: quando o filtro está colocado na linha que vai ao mecanismo superior das válvulas (balancins), todas as demais partes com lubrificação sob pressão recebem óleo sem filtrar, diretamente da bomba.

Os sistemas de derivação filtram unicamente de 5 a 20% do óleo que circula através do sistema de lubrificação.

No sistema de filtragem completa ou total, todo o óleo que passa através do sistema de lubrificação é filtrado antes que atinja as áreas a serem lubrificadas.

Neste sistema, há uma válvula de alívio dentro do filtro para desviar o óleo ao redor do mesmo. Esta preocupação se toma para o caso em que o filtro esteja obstruído devido principalmente à manutenção inadequada (Fig. 2.16).

SISTEMA DE DERIVAÇÃO



SISTEMA DE FILTRAGEM COMPLETA

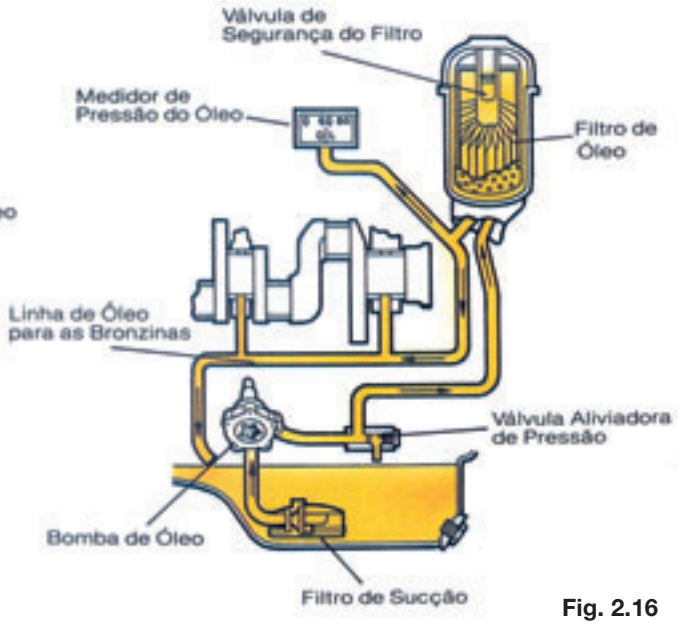

Válvula de Segurança do Filtro
Medidor de Pressão do Óleo
Filtro de Óleo
Linha de Óleo para as Bronzinas
Válvula Aliviadora de Pressão
Bomba de Óleo
Filtro de Sucção

Fig. 2.16

Folga de lubrificação das bronzinas e das buchas

A folga de lubrificação é a diferença entre o diâmetro interno da bronzina ou da bucha e o diâmetro externo do respectivo eixo (Fig. 2.17).

A folga de lubrificação é o fator **mais importante** que influi na operação correta do sistema de lubrificação sob pressão.

Cada fabricante de motor especifica determinadas folgas para bronzinas e buchas que devem ser observadas.

FOLGA DE LUBRIFICAÇÃO DAS BRONZINAS E BUCHAS

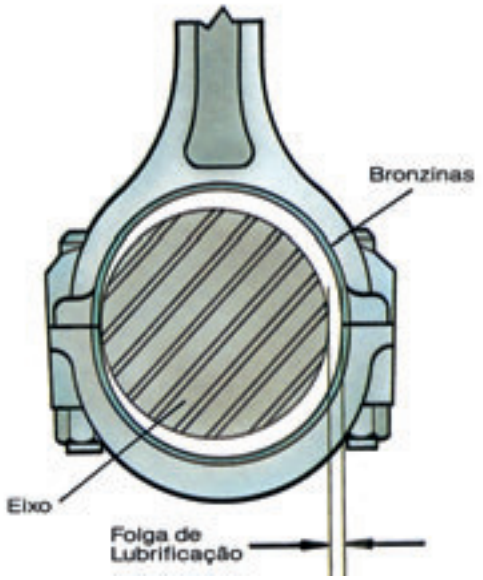


Fig. 2.17

Sistemas de lubrificação de motores

Grosso modo, existem dois sistemas de lubrificação para motores:

- sistema de lubrificação sob pressão;
- sistema de lubrificação por salpique.

Pode-se encontrar em alguns motores um sistema de lubrificação combinado denominado Pressão e Salpique.

Sistema de Lubrificação sob Pressão

O sistema de lubrificação sob pressão lubrifica as partes vitais do motor a partir da bomba de óleo.

As partes que se incluem na lubrificação são as bronzinas centrais e da biela, buchas de eixo comando de válvulas, buchas do pé de biela e, em alguns casos, também os mecanismos da distribuição (Fig. 2.18).

SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO SOB PRESSÃO

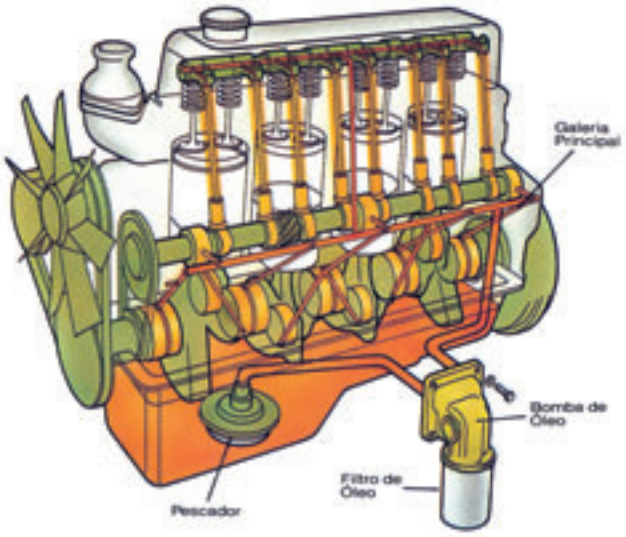


Fig. 2.18

Sistema de lubrificação por salpique

Em um sistema típico de lubrificação por salpique, o óleo é bombeado do cárter para uma calha com rebaixos fixada na parte inferior do bloco.

Em cada volta do virabrequim, a biela recolhe com seu pescador o óleo do rebaixo e o salpica em todas as partes móveis do motor (Fig. 2.19).

SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO POR SALPIQUE

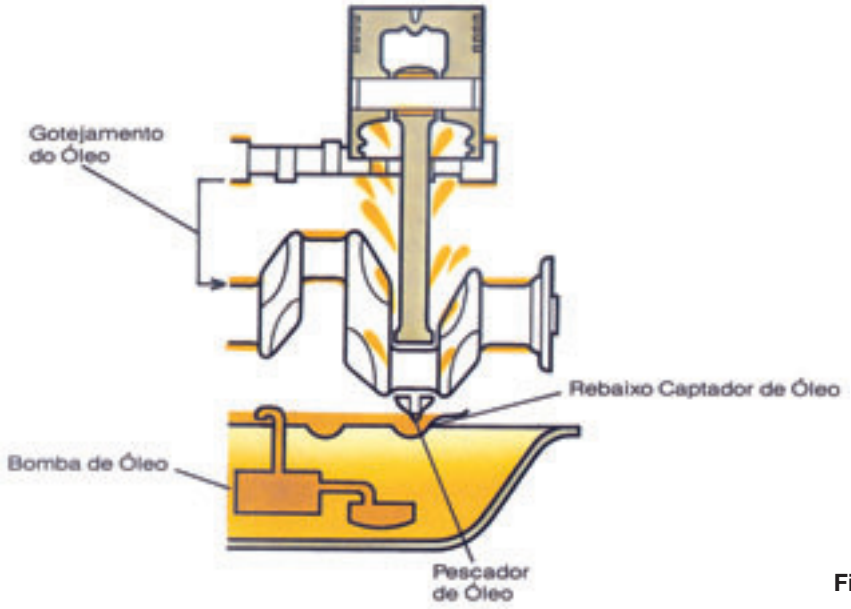


Fig. 2.19

2.5 — Sistema de alimentação do motor

2.5.1 — Sistema de alimentação do motor (Ciclo Otto)

Filtro de Combustível

Tem a finalidade de reter todas as impurezas que circulam no sistema de alimentação (Fig. 2.20). Para os motores que utilizam dois combustíveis independentemente, foi desenvolvido um novo filtro cujas características construtivas são demonstradas abaixo (Fig. 2.20A).

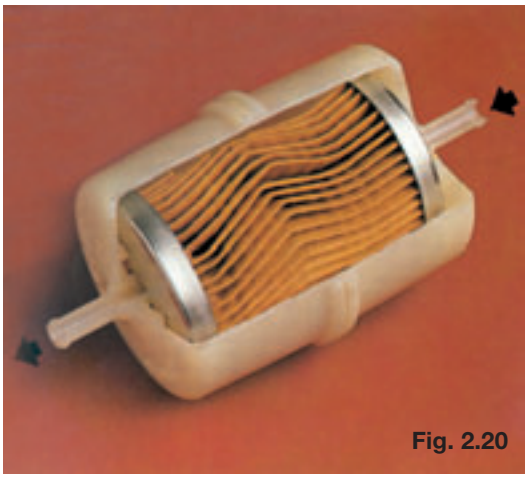


Fig. 2.20

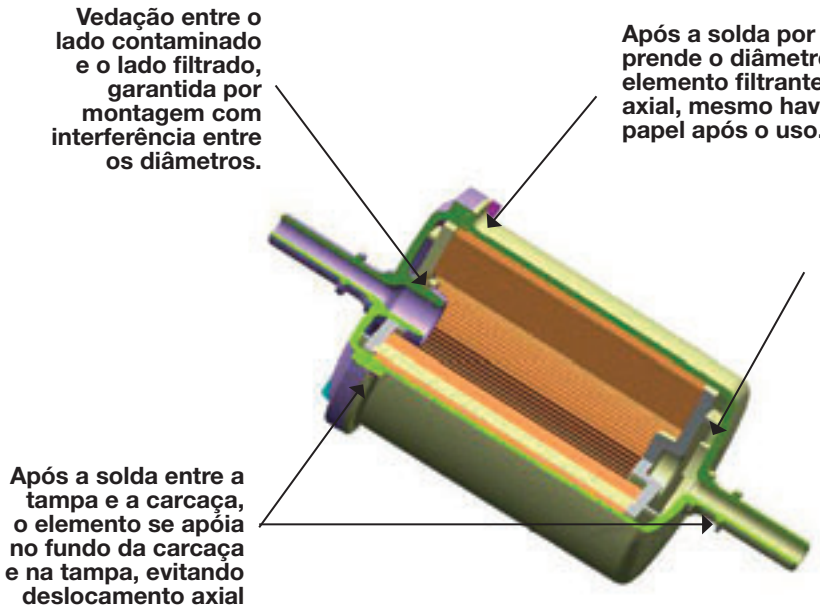

Vedação entre o lado contaminado e o lado filtrado, garantida por montagem com interferência entre os diâmetros.
Após a solda por fricção, a tampa do filtro prende o diâmetro externo da tampa do elemento filtrante, evitando deslocamento axial, mesmo havendo deformação do papel após o uso.
O elemento filtrante não utiliza adesivos na junção entre papel e plastificação.
Após a solda entre a tampa e a carcaça, o elemento se apóia no fundo da carcaça e na tampa, evitando deslocamento axial e falha de vedação.

Fig. 2.20A

Bomba de gasolina ou de álcool

Conjunto destinado a transferir do tanque o combustível em quantidade suficiente para alimentar o carburador.

Existem três tipos: elétrica (Fig. 2.20B), mecânica (Fig. 2.20C) e a vácuo.

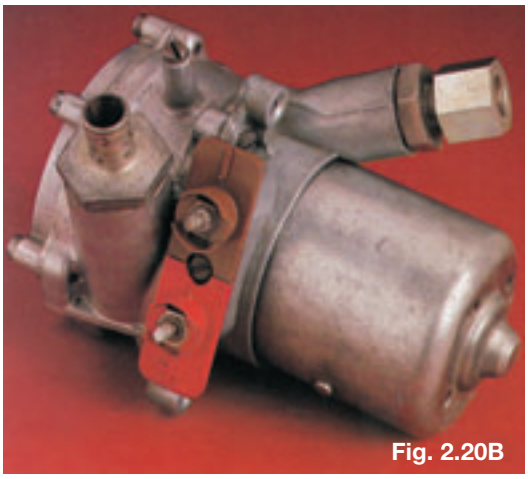


Fig. 2.20B

Carburador

Conjunto destinado a dosar ar e combustível para o motor, possibilitando o funcionamento do mesmo em várias condições, tais como marcha lenta, acelerações rápidas e rotação constante, etc. (Fig. 2.21).

BOMBA MECÂNICA DE GASOLINA OU ÁLCOOL

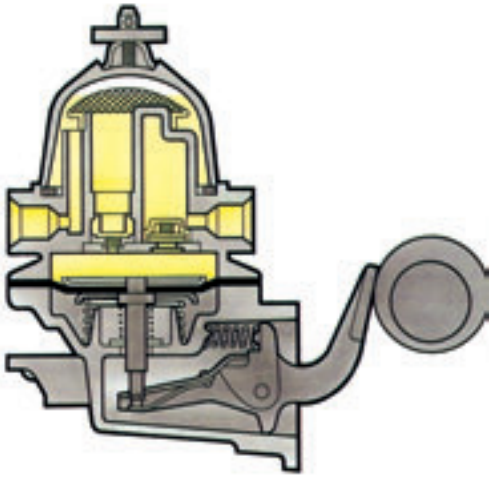


Fig. 2.20C

Os carburadores podem ser usualmente de corpo simples ou de corpo duplo e verticais ou horizontais.

CARBURADOR

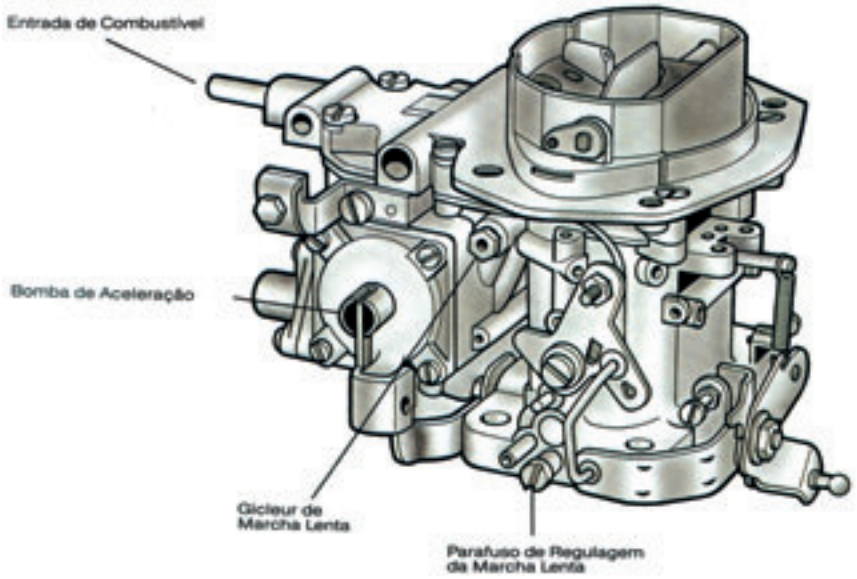


Fig. 2.21

CARBURADOR DE CORPO SIMPLES (CORTE)

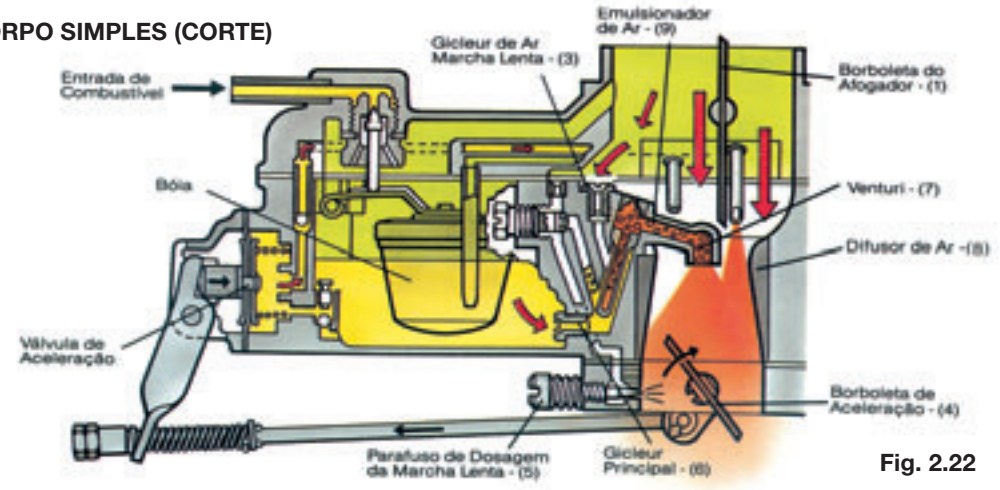

Emulsionador de Ar - (9)
Gicleur de Ar Marcha Lenta - (3)
Entrada de Combustível
Borboleta do Afogador - (1)
Bóia
Venturi - (7)
Difusor de Ar - (8)
Válvula de Aceleração
Borboleta de Aceleração - (4)
Parafuso de Dosagem da Marcha Lenta - (5)
Gicleur Principal - (6)

Fig. 2.22

Descreveremos a seguir, sucintamente, as principais condições de funcionamento do carburador de corpo simples (Fig. 2.22).

Partida a frio

Nos motores a gasolina, a partida a frio deve ser dada acionando-se a borboleta do afogador (1) que, ficando praticamente fechada, criará uma depressão no carburador formando-se dessa forma uma mistura bastante rica, que assegurará a partida do motor mesmo a baixa temperatura. O acionamento da borboleta do afogador pode ser manual ou automático (bimetálico).

Nos motores a álcool, além do uso do afogador, deve-se também acionar o sistema de injeção de gasolina no carburador, que pode ser manual ou automático.

Marcha lenta

Quando o veículo está parado com o motor em funcionamento, o circuito que fornece combustível para o carburador é o de marcha lenta.

O combustível é dosado pelo gicleur de combustível de marcha lenta (2) e misturado com o ar admitido pelo gicleur de ar de marcha lenta (3), sendo essa mistura injetada no orifício situado abaixo da borboleta de aceleração (4). Para se obter uma marcha lenta conveniente deve-se ajustar o parafuso de dosagem de mistura da marcha lenta (5).

Aceleração normal

Durante a utilização normal do veículo (aceleração) será acionado o circuito principal do carburador, composto de: gicleur principal (6), venturi (7), difusor (8) e emulsionador de ar (9).

Com a borboleta do acelerador parcialmente aberta, a depressão existente no coletor de admissão faz com que seja aspirado o ar, que ao passar pelo venturi irá arrastar uma certa quantidade de combustível, dosada pelo gicleur principal, para dentro do cilindro.

Aceleração total

Quando a borboleta do acelerador (4) está totalmente aberta, além do combustível arrastado pelo fluxo do ar através do venturi, entra em ação o dispositivo chamado “bomba de aceleração”, que supre uma quantidade adicional de combustível permitindo uma pronta resposta do motor.

Esse sistema é acionado mecanicamente e composto de diafragma, haste de acionamento, mola do diafragma e válvulas de retenção.

Alimentação por injeção de combustível

O sistema de injeção de combustível fornece a quantidade certa do mesmo, garantindo um rendimento otimizado do motor.

No início uma minoria de carros utilizava esse sistema pois o seu custo ainda era elevado. As principais vantagens deste tipo de alimentação são: não existem problemas de partida, principalmente a frio, a aceleração é mais rápida, o motor é mais elástico e consome menos combustível quando comparado com o alimentado por carburador.

Apresentamos esquematicamente, a seguir, o princípio de funcionamento dos sistemas de injeção mecânico e eletrônico de combustível.

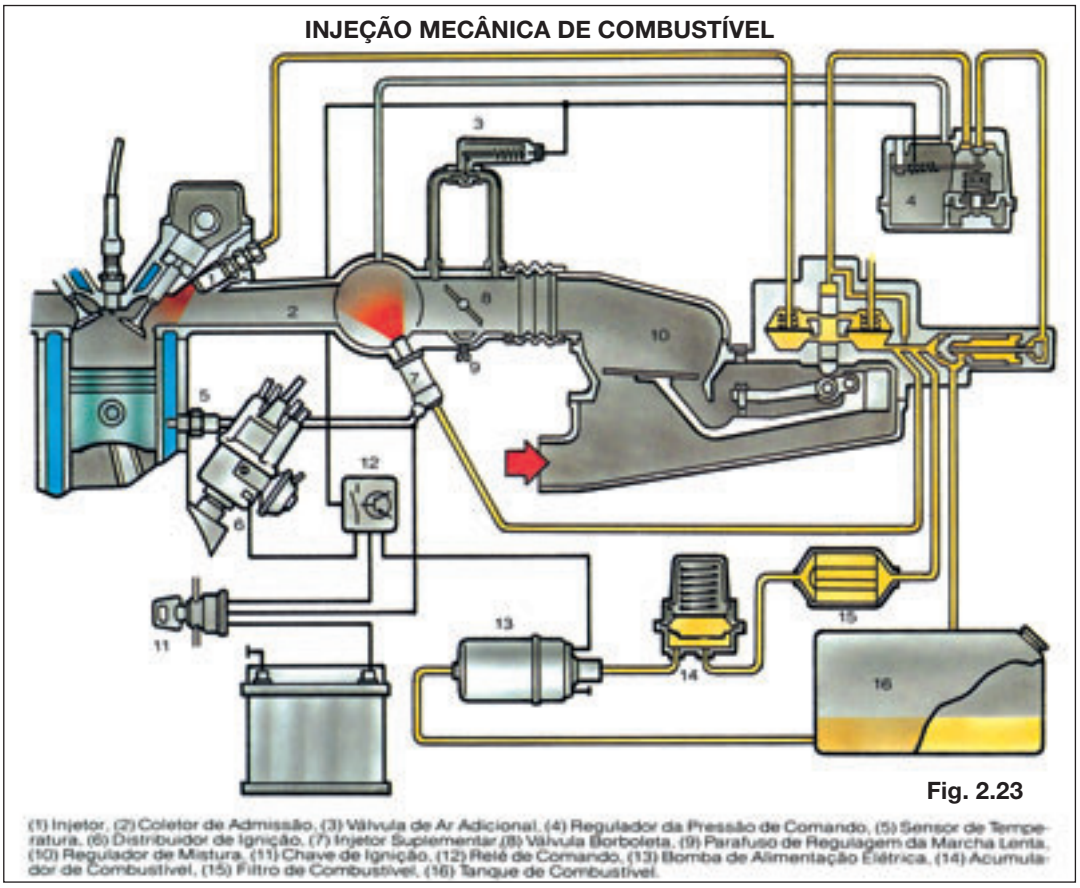


Fig. 2.23

(1) Injetor, (2) Coletor de Admissão, (3) Válvula de Ar Adicional, (4) Regulador da Pressão de Comando, (5) Sensor de Temperatura, (6) Distribuidor de Ignição, (7) Injetor Suplementar,(8) Válvula Borboleta, (9) Parafuso de Regulagem da Marcha Lenta, (10) Regulador de Mistura, (11) Chave de Ignição, (12) Relé de Comando, (13) Bomba de Alimentação Elétrica, (14) Acumulador de Combustível, (15) Filtro de Combustível, (16) Tanque de Combustível.

Injeção mecânica de combustível (Fig. 2.23)

Partida a frio

Um sensor de temperatura (5) colocado no motor faz com que o injetor suplementar (7) abra para injetar combustível no coletor de admissão (2). Simultaneamente, o motor aspira ar frio através do regulador de mistura (10), que, passando através da válvula borboleta (8), chega até a válvula de admissão. Mas antes da válvula de admissão está localizado o injetor (1). Deste modo, nas partidas a frio o motor recebe combustível de duas fontes, mas atingindo a temperatura de funcionamento o injetor suplementar (7) pára de funcionar.

Marcha lenta

A válvula borboleta está fechada.O ar aspirado é obrigado a dar uma volta pela válvula de ar adicional (3).

A rotação de marcha lenta do motor é ajustada através do parafuso de regulagem (9). O injetor (1) lança no coletor de admissão (2), próximo à válvula, uma quantidade mínima de combustível determinada pelo regulador de mistura (10).

Aceleração

A válvula borboleta é ligada através de um cabo ao pedal do acelerador. Esta se abre quando se aperta o pedal do acelerador, ocasionando um aumento de admissão de ar no motor e, conseqüentemente, a alavanca mecânica do regulador de mistura (10) se abre, fazendo chegar ao injetor (1) uma quantidade maior de combustível.

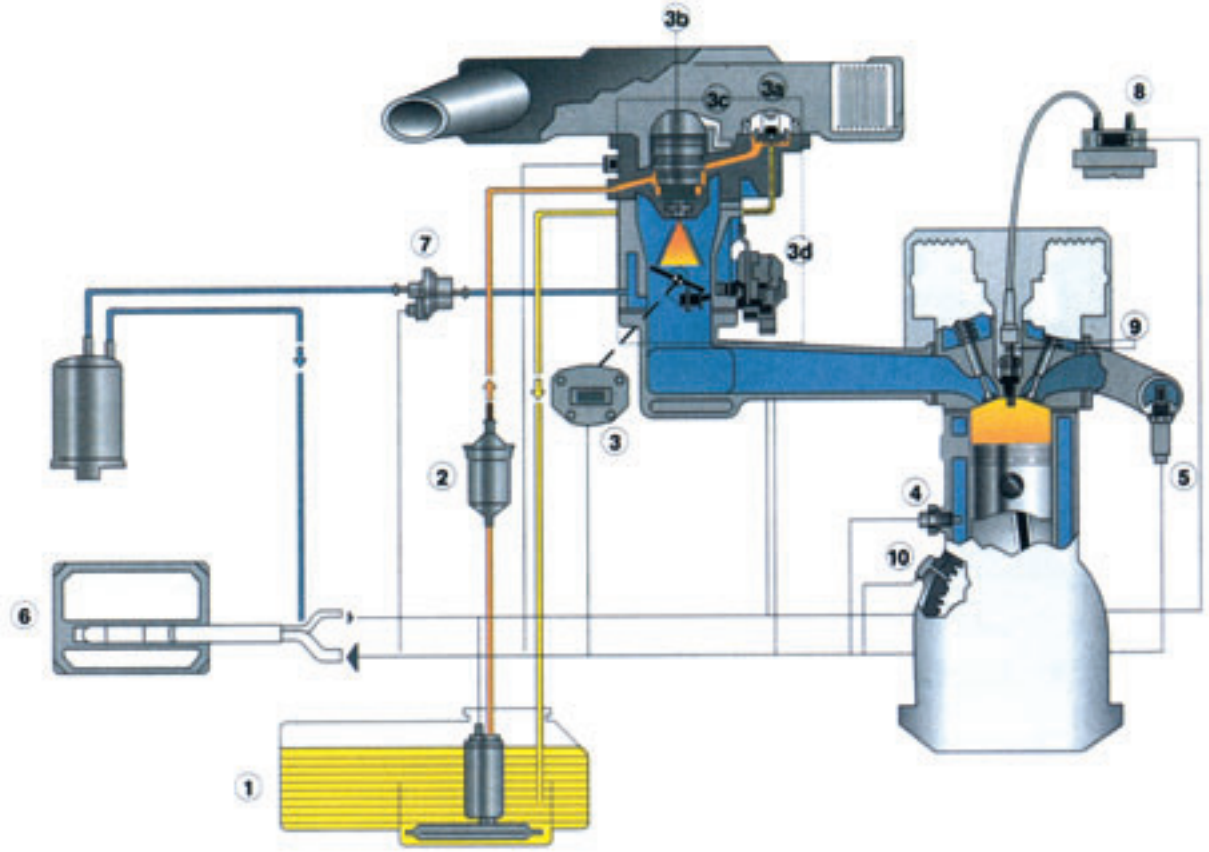
Aceleração total

A válvula borboleta fica totalmente aberta. A alavanca do regulador de mistura (10) libera o máximo de combustível para o injetor (1).

O distribuidor de ignição (6), no sistema de injeção mecânica de combustível, possui um gerador adicional de impulsos elétricos que determina o tempo de trabalho do injetor (1) baseando-se no regulador de pressão (4).

Uma bomba elétrica (13) retira combustível do tanque (16) e abastece o sistema, fazendo-o passar primeiro pelo acumulador de combustível (14) e posteriormente pelo filtro (15). A pressão no conduto é sempre de 5 bar e o excesso de combustível volta novamente para o tanque.

MONO-POINT



1 - Bomba de combustível, 2 - Filtro de combustível, 3 - Potenciômetro da borboleta, 3a - Regulador de pressão, 3b - Válvula de injeção, 3c - Sensor de temperatura do ar, 3d - Atuador de marcha lenta, 4 - Sensor de temperatura, 5 - Sonda lambda, 6 - Unidade de comando, 7 - Válvula de ventilação do tanque, 8 - Bobina de ignição, 9 - Vela de ignição, 10 - Sensor de rotação (pertence ao sistema de ignição).

Fig. 2.24A

Este sistema de injeção utiliza poucos elementos mecânicos móveis (válvulas borboleta, regulador de mistura e injetor) e isso diminui o desgaste e as prováveis quebras.

Injeção eletrônica de combustível

Com a modernização dos veículos e os grandes avanços tecnológicos, abrem-se novas perspectivas para a indústria automobilística.

A injeção eletrônica de combustível é uma das inovações tecnológicas mais importantes dos últimos anos. O cérebro deste sistema sofisticado é uma central de comando (módulo). A unidade de comando recebe uma série de sinais de entrada, provenientes dos sensores instalados no motor, que enviam informações precisas referentes ao seu funcionamento. A unidade, por sua vez, processa as informações recebidas e calcula o tempo adequado de injeção através de um sinal elétrico. Atualmente existem dois sistemas de injeção eletrônica: o sistema mono-point e o multi-point.

Mono-point

O sistema mono-point é dotado de apenas um bico injetor comandado eletronicamente, que efetua a injeção do combustível no coletor de admissão, alimentando os quatro cilindros. A função do sistema é proporcionar para o motor uma exata mistura ar/combustível em qualquer regime de funcionamento do mesmo, visando uma perfeita combustão com menor consumo de combustível emitindo gases de escape mais limpos (menor índice de poluentes), partida a frio mais rápida e menor desgaste dos componentes, reduzindo a manutenção.

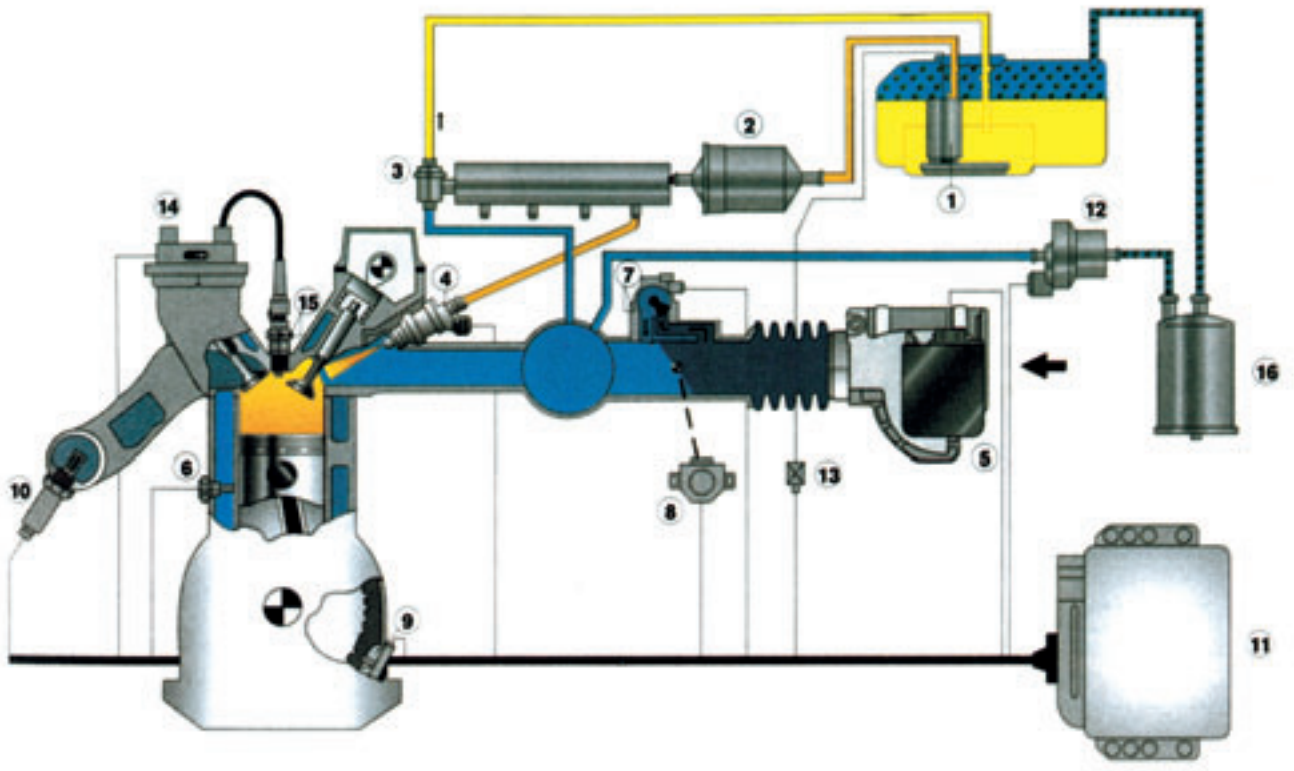
Multi-point

O sistema multi-point é o mais desenvolvido. É um sistema dotado de quatro bicos injetores comandado eletronicamente, que efetua a injeção do combustível no coletor de admissão, alimentando individualmente cada cilindro, podendo ser simultâneo ou seqüencial.

Neste sistema o módulo comanda o sistema de injeção e o sistema de ignição. Através do processamento digital de dados e do emprego de microprocessadores, é possível converter um grande número de dados operacionais em dados de injeção e ignição controlados por mapeamento.

Com o sistema multi-point consegue-se um melhor rendimento do motor, pois cada cilindro irá receber a quantidade exata de mistura ar/combustível, garantindo assim: um menor consumo de combustível, maior potência, aceleração sem atraso, melhora da partida a frio e fase de aquecimento, e baixo teor de poluentes nos gases de escape.

MULTI-POINT



1 - Bomba de combustível, 2 - Filtro de combustível, 3 - Regulador de pressão, 4 - Válvula de injeção, 5 - Medidor de fluxo de ar, 6 - Sensor de temperatura, 7 - Atuador de marcha lenta, 8 - Potenciômetro da borboleta, 9 - Sensor de rotação (pertence ao sistema de ignição), 10 - Sonda lambda, 11 - Unidade de comando (injeção + ignição), 12 - Válvula de ventilação do tanque, 13 - Relé de comando, 14 - Bobina de ignição, 15 - Vela de ignição, 16 - Canister.

Fig. 2.24B

Tecnologia

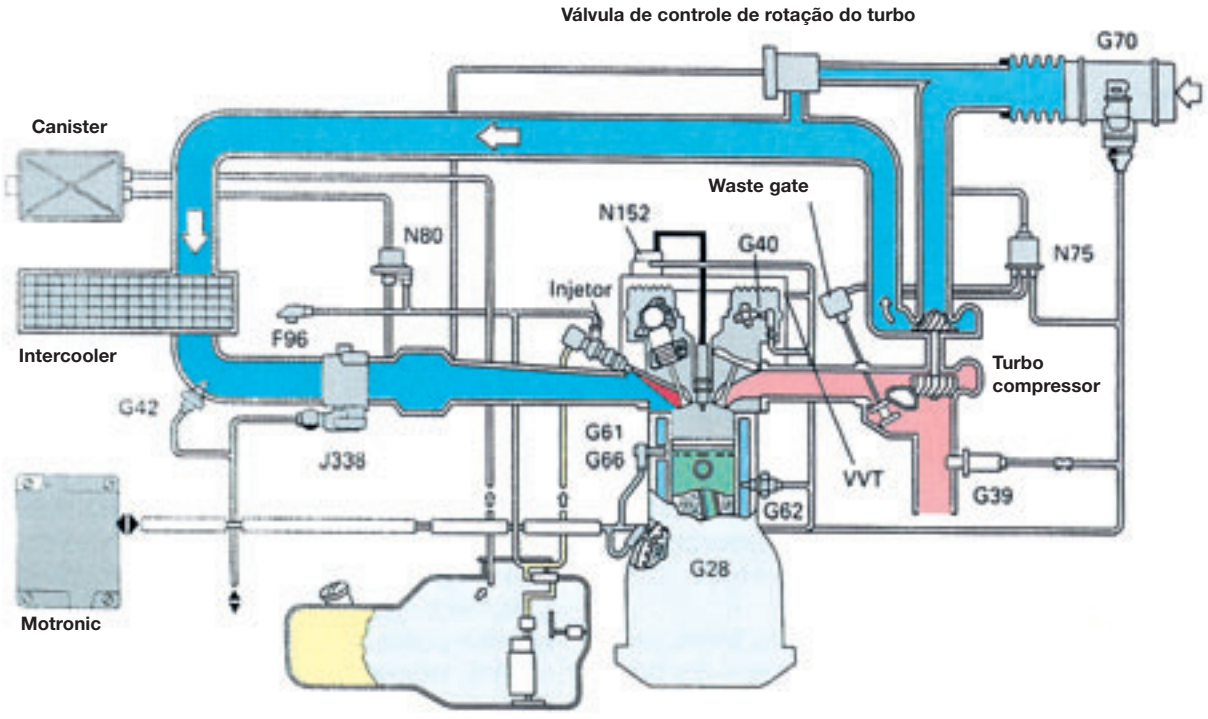
Motor 1.0 16V Turbo

O motor 1.0 16V Turbo tem um controle otimizado, através da utilização de uma Unidade de Controle Eletrônico (ECU), com os melhores recursos de calibração de injeção e ignição existentes no mercado. O sistema possui ainda, como diferencial, a correção dinâmica para avanço de ignição que prioriza o torque (Nm) do motor em qualquer regime. O sistema de gerenciamento do motor controla a válvula reguladora de pressão do turbo (Waste Gate). Essa válvula mantém o nível máximo de potência e torque independente das variações ambientais.

Outro componente, o HFM (Hot Film Mass) é um sensor de massa de ar que mede, direta e precisamente, a quantidade de ar admitida pelo motor e, com isso, otimiza a relação ar/combustível melhorando a dirigibilidade e as emissões de poluentes.

O motor está equipado com dois sensores de detonação localizados entre os cilindros 1 e 2, e o outro nos cilindros 3 e 4, que evitam a ocorrência de detonação, através da informação à ECU, que toma as medidas necessárias para obter a melhor performance com o menor consumo.

O motor 1.0 16V Turbo recebeu as adequações tecnológicas dos motores mais modernos. Estas são as responsáveis por fazer com que este motor desenvolva potência e torque elevados.



G70 - Medidor de massa de ar, N75 - Eletroválvula de controle de pressão de sobrealimentação, G39 - Sonda lambda, G40 - Sensor Hall de fase, G62 - Sensor temp. do liq. refrigerante, G28 - Sensor de rotação e PMS, G61 e G66 - Sensores de detonação, N80 - Eletroválvula do canister, F96 - Sensor de altitude, J338 - Unidade de comando da borboleta, G42 - Sensor de temp. do ar de admissão, N152 - Transformador de ignição, VVT - Variable valve timing.

Fig. 2.24C

2.5.2 — Sistema de alimentação do motor (Ciclo Diesel)

Bomba de alimentação (ou transferência) de combustível

Pode ser de pistão ou de diafragma e serve para transferir o óleo combustível do tanque para a bomba injetora, fazendo-o passar por um elemento filtrante (detalhe A — Fig. 2.25).

Filtro de combustível

Tem a finalidade de reter todas as impurezas que circulam no sistema de alimentação. Dispõe de uma válvula cuja finalidade é manter constante a pressão do combustível para a bomba injetora, evitando dessa maneira o borbulhamento ou a deficiência de combustível. Em alguns motores essa válvula é colocada na bomba em vez de ser posta no filtro (detalhe B — Fig. 2.25).

Bomba injetora

Conjunto destinado a regular o débito do óleo combustível e injetá-lo, através dos bicos injetores, nos cilindros. Existem dois tipos: em linha e rotativa.

Bomba em linha

É um mecanismo de injeção, de pistões múltiplos e curso constante, que deve bombear a quantidade de combustível exigida pela carga do motor, mantendo essa carga constante de ciclo para ciclo bem como de cilindro para cilindro, no tempo exato, a despeito da rotação do motor. A quantidade de combustível injetada é regulada pelo movimento semi-rotativo dos pistões, os quais possuem uma ranhura em hélice permitindo a passagem de maior ou menor quantidade de óleo diesel na câmara de compressão da bomba. O movimento semi-rotativo dos pistões é dado pela cremalheira que está ligada ao regulador de rotação (Fig. 2.25).

BOMBA DE INJEÇÃO DE COMBUSTÍVEL — EM LINHA

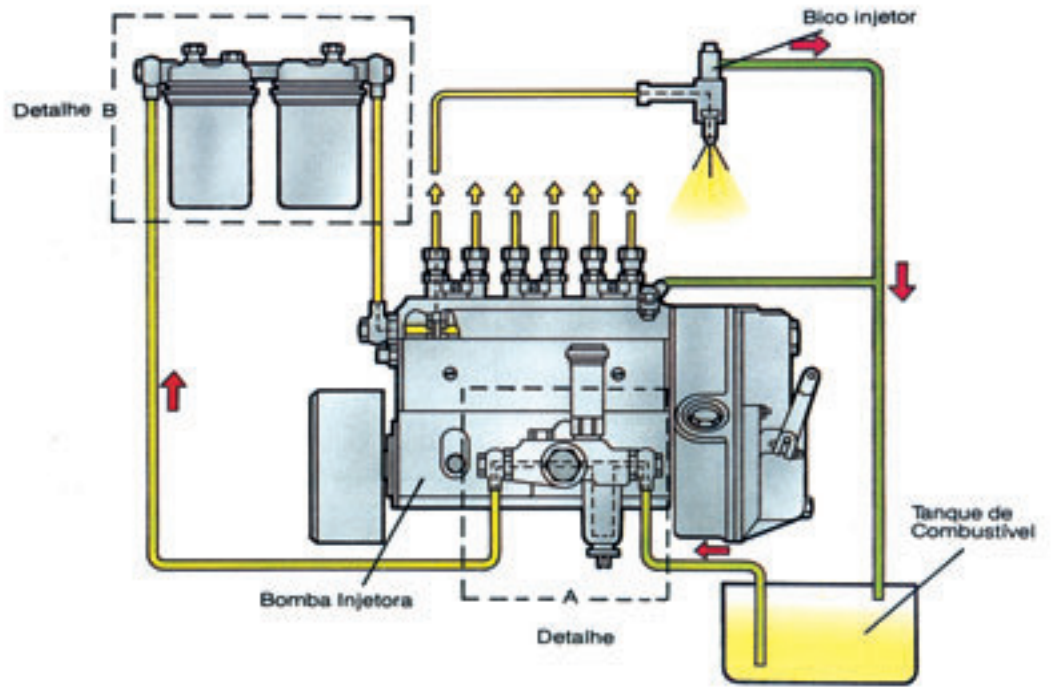


Fig. 2.25

Bomba Rotativa

É um mecanismo de injeção de um único elemento de bombeamento (2 pistões contrapostos em um cilindro transversal), fornecendo por meio de uma válvula dosadora a quantidade exata de combustível ao motor, através de um distribuidor giratório na ordem de explosão, independente da quantidade de cilindros e rotação do mesmo (Figs. 2.26 e 2.27).

BOMBA DE INJEÇÃO DE COMBUSTÍVEL — ROTATIVA

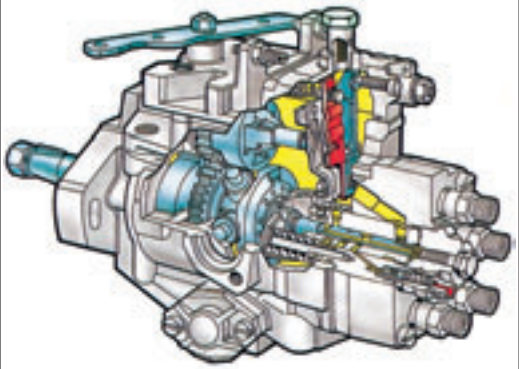


Fig. 2.26

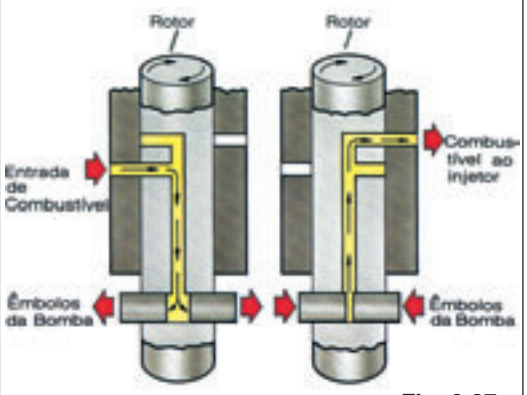


Fig. 2.27

BICO INJETOR

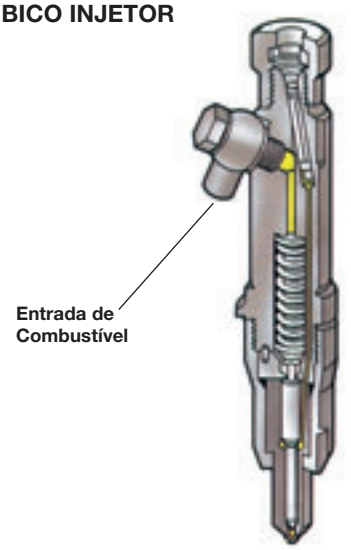


Fig. 2.28

Bico Injetor

A sua principal função é injetar o combustível na pré-câmara de combustão (injeção indireta) ou na câmara de combustão (injeção direta) num jato finamente atomizados (Figs. 2.28 e 2.29).

INJEÇÃO DIRETA E INJEÇÃO INDIRETA

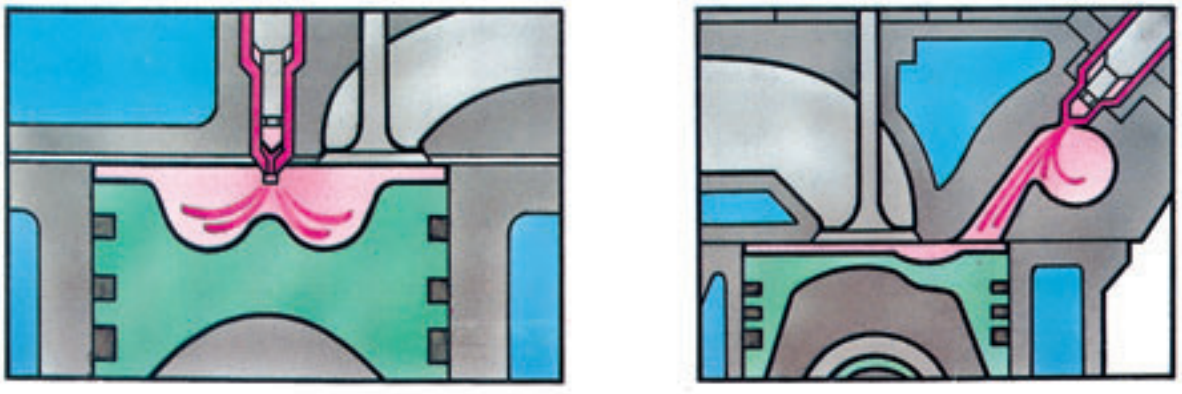


Fig. 2.29

Vela de Incandescência

A fim de facilitar a partida, isto é, com o motor frio, os motores diesel de injeção indireta possuem velas de incandescência que, ao receberem corrente elétrica, aquecem o ar no interior da pré-câmara, facilitando a queima do óleo diesel pulverizado na câmara de combustão (Figs. 2.30 e 2.31).

VELA DE INCANDESCÊNCIA

Fig. 2.30

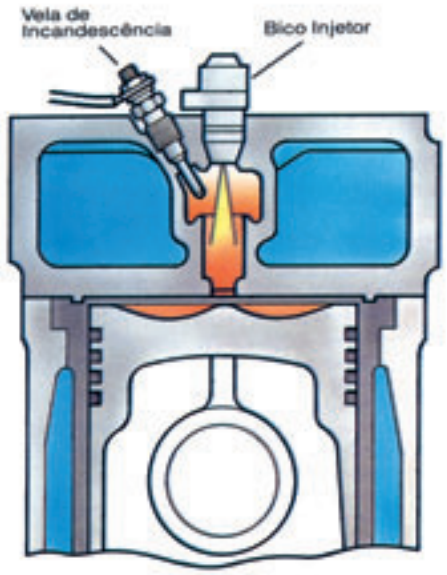


Fig. 2.31

2.5.3 — Superalimentação

A potência máxima desenvolvida por motores à combustão interna pode ser aumentada com a elevação da pressão de admissão.

Este aumento é obtido com a aplicação de um sistema denominado **Superalimentação**. Este processo consiste em forçar para dentro do cilindro a mistura ar/combustível ou somente ar no motor Ciclo Diesel.

Elevando-se a densidade do ar, através do aumento da pressão de admissão, consegue-se um aumento de potência acompanhado de um acréscimo de eficiências térmica e volumétrica, alcançando-se dessa forma um aumento do rendimento do motor e a diminuição do seu consumo específico de combustível.

A superalimentação pode ser obtida com a utilização de dispositivos chamados **Superalimentadores,** que podem ser acionados mecanicamente ou por meio dos gases de escape.

Os superalimentadores acionados mecanicamente, por meio de engrenagens, correias, etc., são denominados **Compressores Volumétricos** (Fig. 2.32). Aqueles acionados pelos gases de escape são denominados **Turboalimentadores** e são os mais empregados atualmente.

COMPRESSOR VOLUMÉTRICO

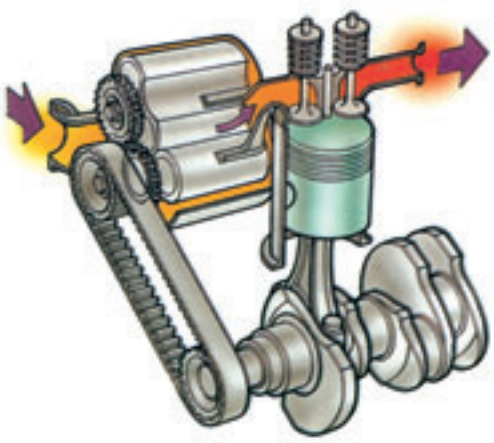


Fig. 2.32

TURBO ALIMENTADOR

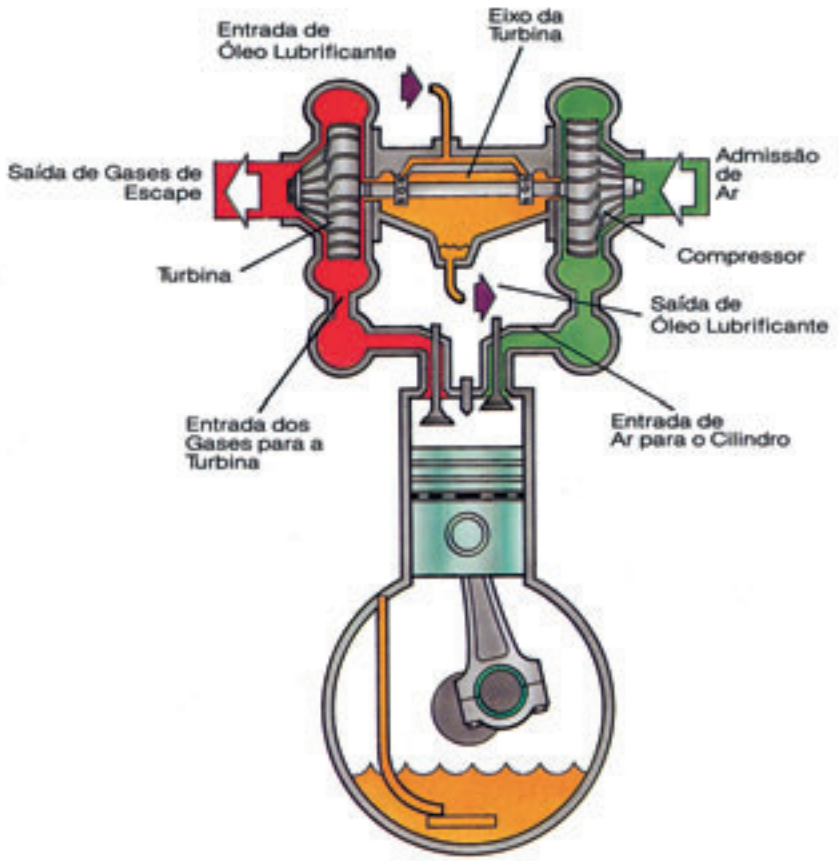


Fig. 2.33

Os turboalimentadores são compostos por uma turbina e por um compressor ligados mecanicamente por um eixo. A turbina alimentada pelos gases de escape que estão a elevadas temperaturas movimenta o compressor. Este por sua vez aspira a mistura ar/combustível ou somente ar, forçando-a dentro do cilindro (Fig. 2.33).

Para motores de aviação, e para aqueles que operam em altitudes elevadas, a superalimentação é necessária devido à rarefação do ar.

Tendo em vista a proximidade entre a turbina e o compressor, os gases de escape a elevadas temperaturas aquecem o ar, introduzido no motor fazendo com que a sua eficiência volumétrica diminua.

Em alguns motores, para compensar essa diminuição de eficiência volumétrica e para aumentar ainda mais a sua potência, o ar, antes de ser introduzido no cilindro, passa através de um intercambiador de calor (ar/ar ou ar/água), para diminuir a sua temperatura, aumentando assim a sua densidade.

Para aplicação veicular, o mais usual é o sistema ar/ar, enquanto que para os motores estacionários normalmente se usa o sistema ar/água (Fig. 2.34).

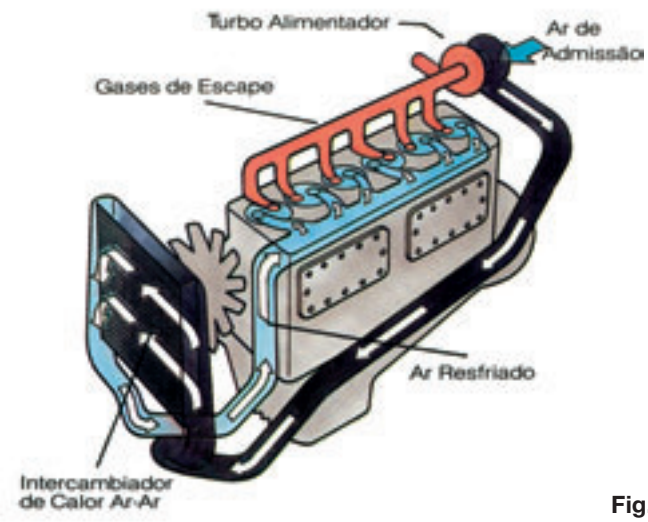


Fig. 2.34

Injeção eletrônica de combustível

A injeção eletrônica de combustível em motores diesel tem como objetivo satisfazer as exigências muito severas de proteção do meio ambiente.

Para isso foi desenvolvido um sistema eletrônico de comando de injeção. Um módulo de comando recebe sinais do pedal do acelerador e de sensores instalados no motor. Os sensores detectam as informações de funcionamento do motor e enviam para o módulo de comando.

As unidades injetoras são comandadas mecanicamente pela árvore de comando na cabeça dos cilindros e eletronicamente pelo módulo de comando. Com isso a injeção de combustível é alterada de acordo com a solicitação e a rotação do motor.

Bomba de alimentação

A bomba de alimentação é movida a partir da distribuição do motor.

Sua finalidade é fornecer a pressão e o fluxo correto para todas as unidades injetoras. O fluxo deve ser suficientemente elevado para equalizar eventuais diferenças de temperatura no combustível e no canal de combustível na cabeça de cilindro.

Bomba manual

A bomba manual está montada no suporte do filtro de combustível e usa-se para poder encher o sistema de combustível e purgar o ar do sistema quando o motor está parado.

Válvula de retenção

Na saída do canal de combustível está montada uma válvula de retenção.

A válvula de retenção mantém a pressão do sistema de combustível. A pressão de abertura da válvula é de cerca de 3,5 bar.

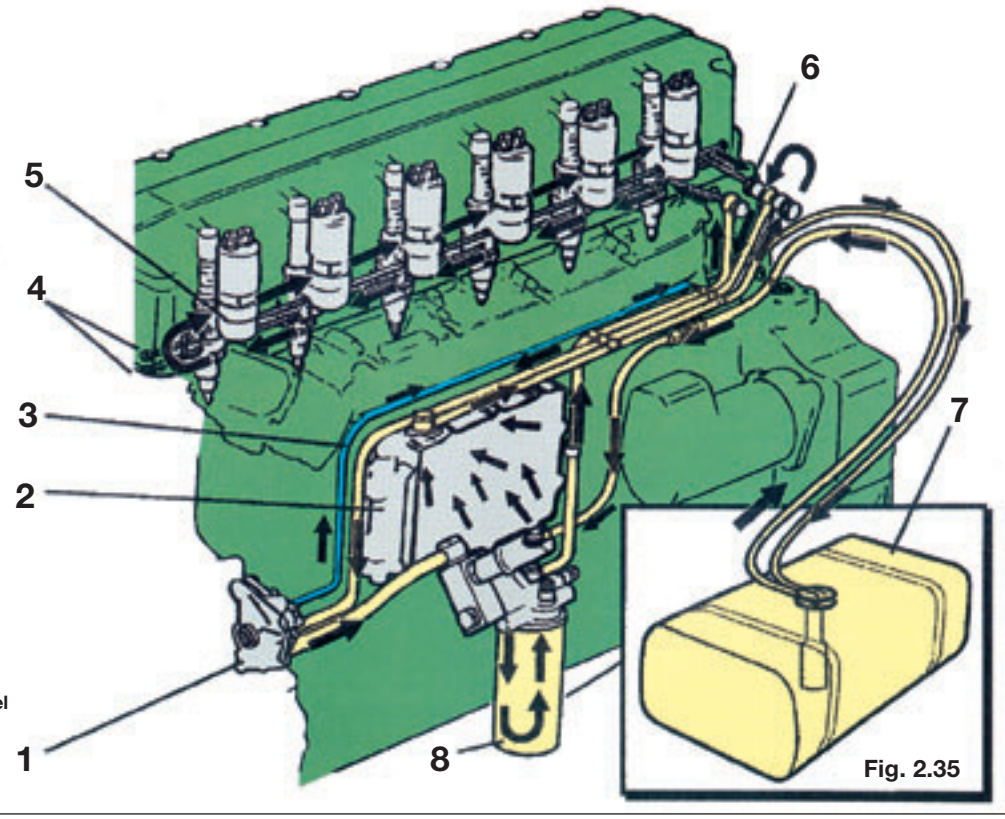


Fig. 2.35

Common Rail

A primeira bomba injetora em linha, fabricada em série no ano de 1927, criou as condições para o emprego do motor diesel de alta rotação em veículos automotivos. Ainda hoje alguns motores utilizam a bomba injetora.

O sistema de injeção de pressão modulada "Common Rail" para motores de injeção direta abre novos conceitos:

- Grande área de aplicação, desde motores com potência de 30kW/cilindro até 200kW/cilindro.
- Alta pressão de injeção de até cerca de 1.400 bar.
- Início de injeção variável.
- Volume de injeção, pressão no "Rail" e início de injeção adaptada a cada regime de funcionamento.

No sistema de injeção de pressão modulada "Common Rail", produção de pressão e injeção são desacopladas. A pressão de injeção é produzida independente da rotação do motor e do volume de injeção, e está no "Rail" (acumulador de combustível de alta pressão) pronta para a injeção. Momento e quantidade de injeção são calculados na unidade de comando eletrônica e transportados pelo injetor em cada cilindro do motor através de uma válvula magnética ativada. Com o injetor e a alta pressão sempre constante, obtém-se uma curva de injeção muito precisa.

Com a ajuda de sensores instalados no motor, a unidade de comando capta as informações e tem condições de comando e regulagem sobre o veículo e, principalmente, sobre o motor. A função básica é controlar a injeção do diesel no momento certo, na quantidade exata e com a máxima pressão possível. Assegura, desta maneira, um funcionamento silencioso, econômico e pobre em poluentes do motor diesel.

Sensores de um sistema de injeção com Common Rail e diversos componentes do sistema.

1 bomba de alta pressão.
2 válvula de desativação do elemento.
3 válvula reguladora de pressão.
4 filtro de combustível.
5 tanque de combustível com pré-filtro e bomba de pré-alimentação.
6 unidade de comando.
7 bateria.
8 acumulador de alta pressão (Rail).
9 sensor de pressão do Rail.
10 sensor de temperatura do combustível.
11 injetor.
12 sensor de temperatura do agente de refrigeração.
13 sensor de rotação do eixo de manivela.
14 sensor do pedal do acelerador.
15 sensor de rotação do eixo de comando.
16 medidor de massa de ar.
17 sensor de pressão de carga.
18 sensor de temperatura do ar aspirado.
19 turbocompressor.

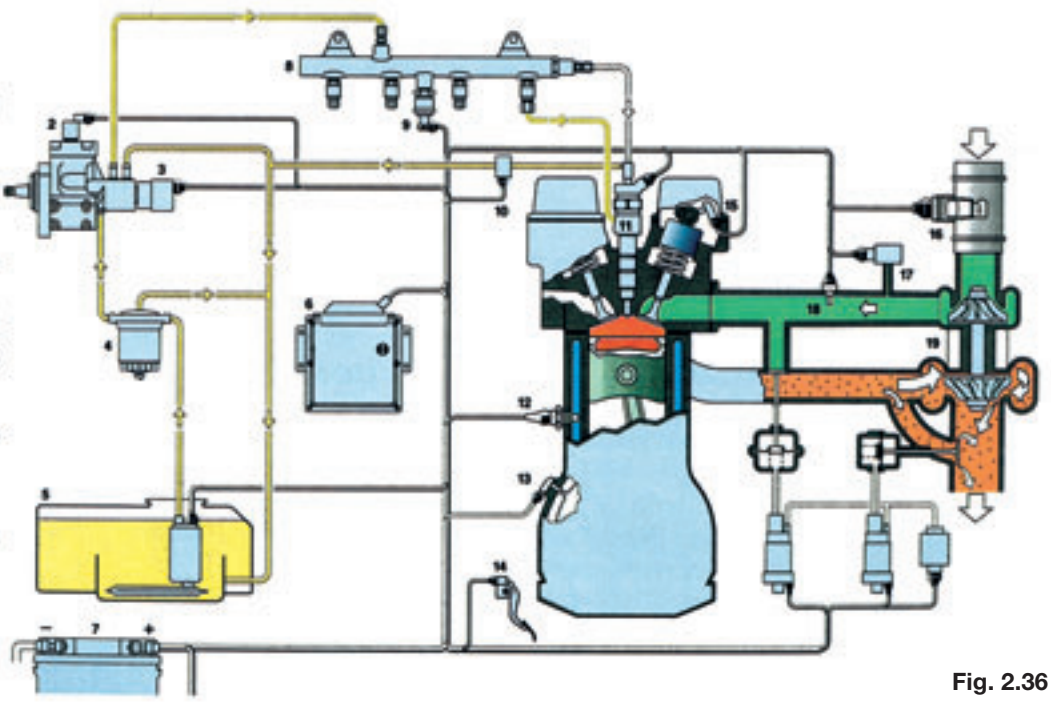


Fig. 2.36

2.6 — Sistema de ignição nos motores (Ciclo Otto)

2.6.1 — Sistema convencional (Fig. 2.37)

Este sistema é composto pelas seguintes peças:

- Bateria — alimenta com baixa voltagem o primário da bobina.
- Bobina — dispositivo destinado a elevar a voltagem elétrica recebida da bateria para alimentar as velas através do distribuidor.
- Distribuidor — dispositivo destinado a interromper ou alternar a baixa voltagem de alimentação do primário da bobina e também distribuir a alta voltagem de saída da bobina para as velas.

SISTEMA CONVENCIONAL

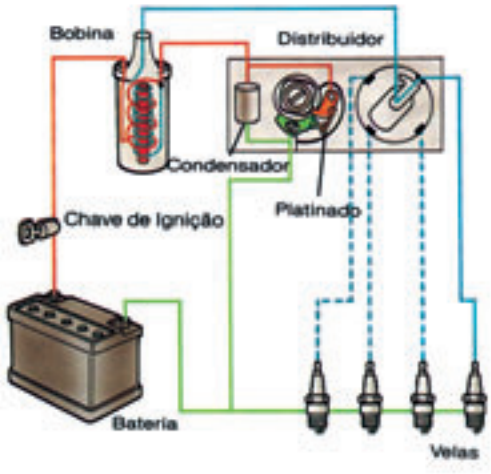


Fig. 2.37

Os principais componentes do distribuidor são: platinado, condensador e rotor. O platinado dispõe de um contato, comandado pelos ressaltos do eixo do distribuidor, que, quando abre, interrompe ou alterna a baixa voltagem de alimentação da bobina e permite a aplicação da alta voltagem nas velas. A corrente no contato, no instante da interrupção, é da ordem de 2A a 3A, que é considerada alta, e provoca desgaste no contato.

O condensador é um dispositivo cuja finalidade é eliminar o centelhamento no platinado e aumentar a alta voltagem do secundário da bobina destinada às velas.

O rotor fica acoplado na parte superior do eixo do distribuidor e serve para distribuir a alta voltagem para as velas, no momento exato em que cada pistão estiver comprimindo a mistura.

- Vela — dispositivo através do qual a faísca ocasionada pela alta tensão inflama a mistura comprimida no cilindro.

VELA DE IGNIÇÃO

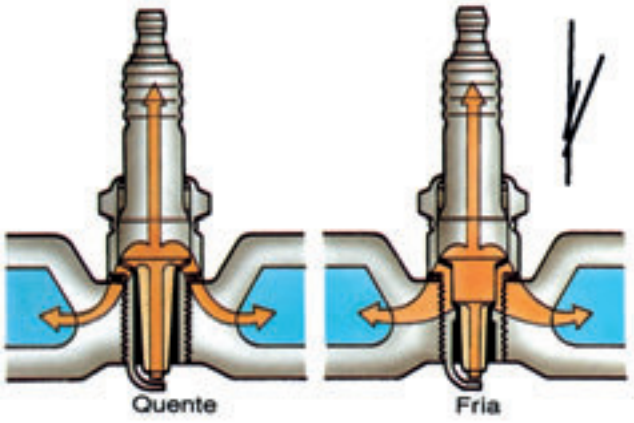


Fig. 2.38

Além disso, as velas de ignição devem resistir a mudanças bruscas de temperatura e pressões, alta voltagem, vibração mecânica e corrosão química dos gases da combustão. As velas podem ser classificadas de acordo com seu grau térmico como quentes ou frias. É aconselhável, na substituição das velas, observar o índice térmico recomendado pelo fabricante do motor (Fig. 2.38).

2.6.2 — Sistemas de ignição com semicondutores

Sistema transistorizado com platinado

O Sistema Transistorizado com Platinado utiliza o platinado como "interruptor mecânico" ligado ao circuito de base do transistor. Desse modo o transistor é ligado e desligado.

Como a corrente de base do transistor é muito menor que a da bobina (aproximadamente 1/10), o platinado praticamente não se desgastará nem será preciso o uso do condensador. A saturação da bobina fica garantida e assim a voltagem no seu secundário é a máxima possível.

Como a bobina deve ser dimensionada especialmente para este sistema de ignição e a ligação é instantânea, não há queda de voltagem no secundário devido à rotação do motor.

Algumas das vantagens que o Sistema Transistorizado com Platinado apresenta são as seguintes:

- corrente pequena no platinado;
- obtenção de maior corrente no primário da bobina (cerca de 20% a mais);
- produção de maior voltagem no secundário da bobina;
- o sistema não é afetado pela rotação do motor.

Como este sistema não elimina o platinado, podemos "reverter" para o sistema convencional no caso de falha do sistema eletrônico.

Sistema transistorizado sem platinado ou sistema de impulso magnético (Fig. 2.39)

Neste sistema o platinado é substituído por um "sensor" ligado à mesma base do circuito anterior.

Este sensor magnético é formado por um ímã permanente e por uma bobina de captação de voltagem.

O ímã permanente possui um dente para cada cilindro, sendo o substituto do came convencional. O resto do sistema do distribuidor permanece inalterado.

Como a voltagem na saída do sensor é muito pequena, usa-se um "amplificador de pulsos" para excitar o transistor que liga e desliga o primário da bobina. A bobina também é especialmente projetada para este sistema. No primário ela tem menos espiras e de fio mais grosso, e no secundário mais espiras que a bobina comum. Portanto produz maior voltagem no secundário, inclusive em altas velocidades.

Além dos sistemas citados existem outros, pouco usados no Brasil, tais como "Sistema de Ignição por Descarga Capacitiva" e "Sistema Conjugado de Ignição".

SISTEMA TRANSISTORIZADO SEM PLATINADO

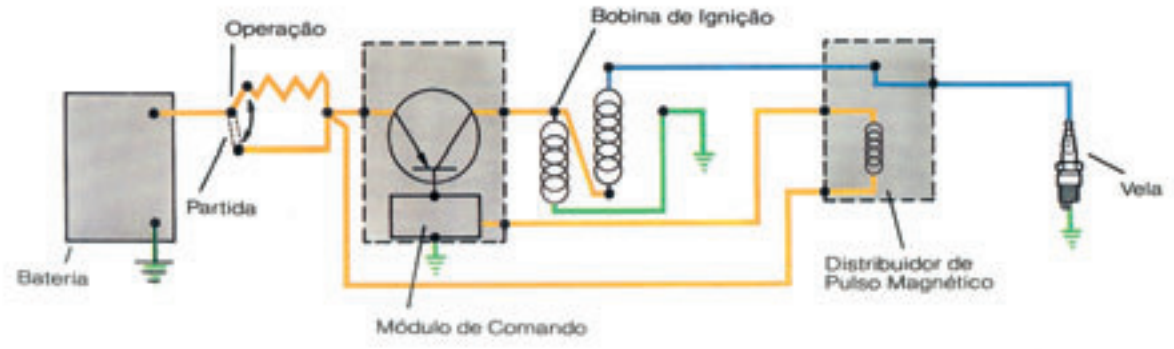


Fig. 2.39

2.7 — Sistema de arrefecimento

O sistema de arrefecimento é muito importante porque ele tem por finalidade absorver o excesso de calor gerado durante o funcionamento do motor, mantendo a temperatura do mesmo dentro dos limites especificados em seu projeto. Há dois sistemas básicos:

2.7.1 — Arrefecimento direto por meio de ar (forçado)

É um sistema simples aplicado em alguns tipos de motores, dotado de uma ventoinha (ventilador), acionada pelo próprio motor do veículo, que força o ar a passar entre as aletas nos cilindros e nos cabeçotes, retirando o calor (as aletas servem para aumentar a área de contato com o ar) (Fig. 2.40).

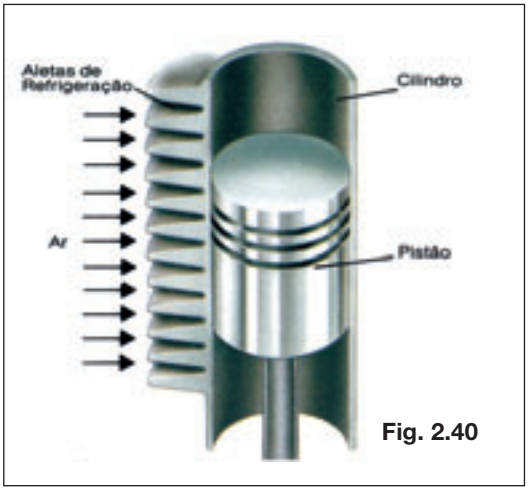


Fig. 2.40

2.7.2 — Arrefecimento por meio de líquido

É um sistema, largamente empregado hoje, normalmente composto de bomba-d'água, radiador, ventilador, válvula termostática, tanque de expansão e tampa (Fig. 2.41).

Bomba-d'água

É um dispositivo do sistema de arrefecimento destinado a fazer circular o líquido arrefecedor pelas galerias existentes no bloco e no cabeçote do motor, e pelo radiador (detalhe A - Fig. 2.41).

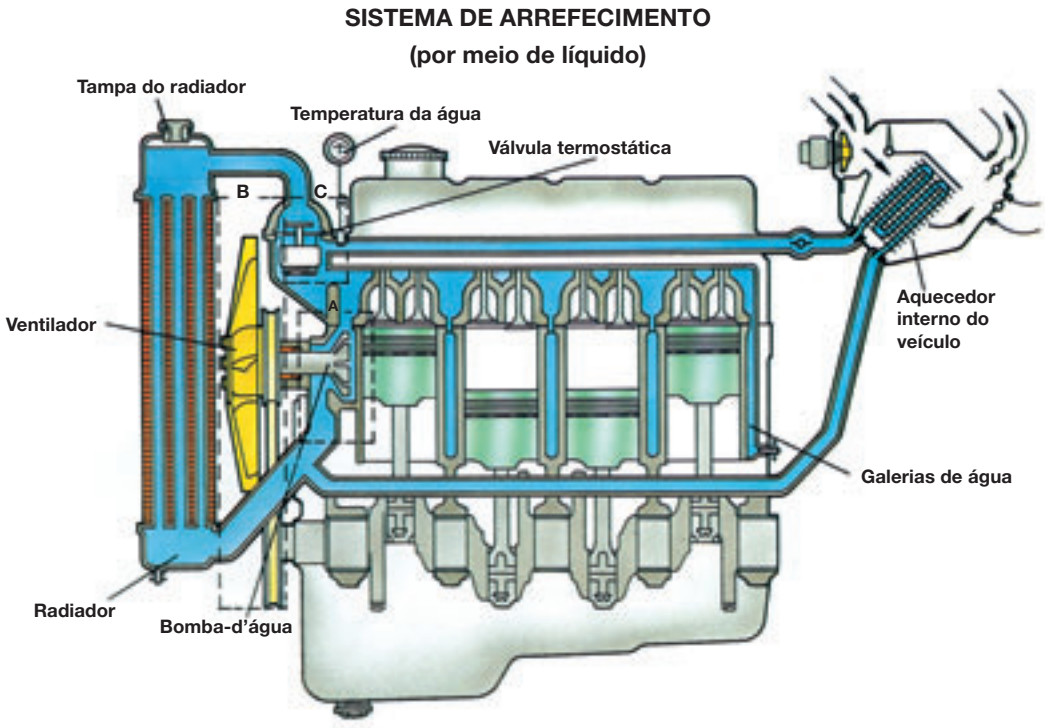


Fig. 2.41

Radiador

Dispositivo principal do sistema de arrefecimento por meio de líquido destinado a retirar o calor do líquido arrefecedor que circula no motor, pela passagem de ar através do conjunto tubos e colméia (Fig. 2.42). Na maioria dos casos possui um defletor que serve para melhorar a circulação do ar em baixas velocidades.

Ventilador

Dispositivo destinado a forçar a passagem de ar através do conjunto tubos e aletas do radiador. Pode ser acionado pelo motor do veículo (detalhe B — Fig. 2.41) ou por um motor elétrico (eletroventilador) comandado por um sensor térmico ou ainda por um acoplamento eletromagnético também comandado por um sensor térmico.

Tanque de expansão

É um dispositivo que serve para armazenar o líquido arrefecedor que se expandiu do radiador devido ao seu aquecimento. Quando o motor esfria, surge um vácuo no radiador que faz o líquido arrefecedor retornar do tanque expansor para o mesmo. Com isso mantém-se a quantidade do líquido arrefecedor constante no sistema, evitando-se freqüentes reposições (detalhe A — Fig. 2.42).

Nos sistemas mais modernos, o tanque de expansão é pressurizado e está ligado diretamente no radiador.

RADIADOR E TANQUE DE EXPANSÃO

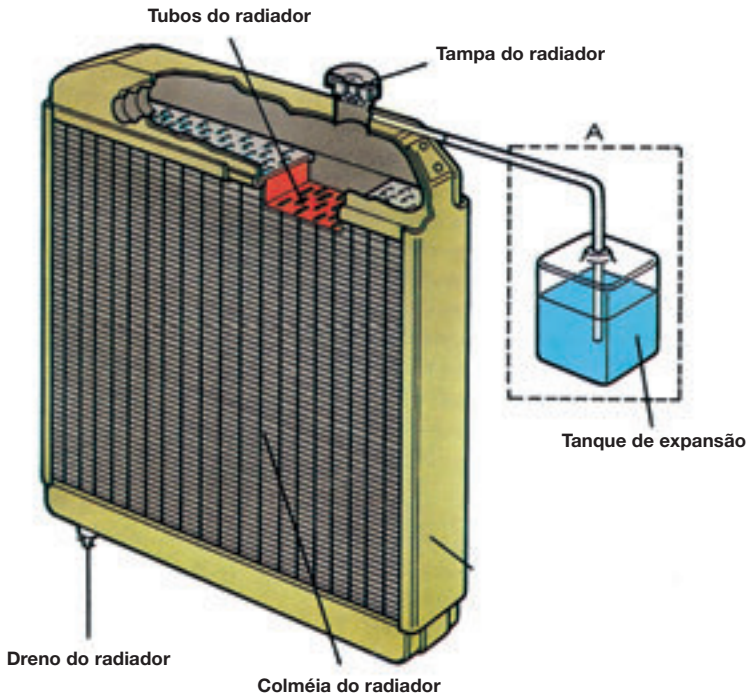


Fig. 2.42

Tampa do radiador

É um dispositivo que tem várias funções: mantém a pressão elevada no radiador, fazendo com que o ponto de ebulição do líquido arrefecedor fique mais alto; forma ainda uma câmara de dupla vedação no bocal do radiador, com três guarnições, sendo uma fixa e duas acionadas por molas; a volta do líquido para o radiador, quando o motor estiver frio, ocorre automaticamente, pois a pressão no radiador é inferior à do tanque de expansão; a diferença de pressão consegue abrir a válvula central ao comprimir a mola (Fig. 2.43). No sistema de arrefecimento pressurizado, a tampa do radiador fica colocada no tanque de expansão.

Válvula termostática (termostato)

É um dispositivo cuja finalidade é impedir que o líquido circule pelo radiador, até que o motor atinja rapidamente a temperatura de funcionamento (Fig. 2.44).

Nesta temperatura ela se abre, permitindo a circulação do líquido arrefecedor pelo sistema. A partir deste ponto ela controla a temperatura do motor abrindo ou fechando e desta forma regulando o fluxo do líquido arrefecedor pelo radiador (detalhe C — Fig. 2.41).

TAMPA DO RADIADOR

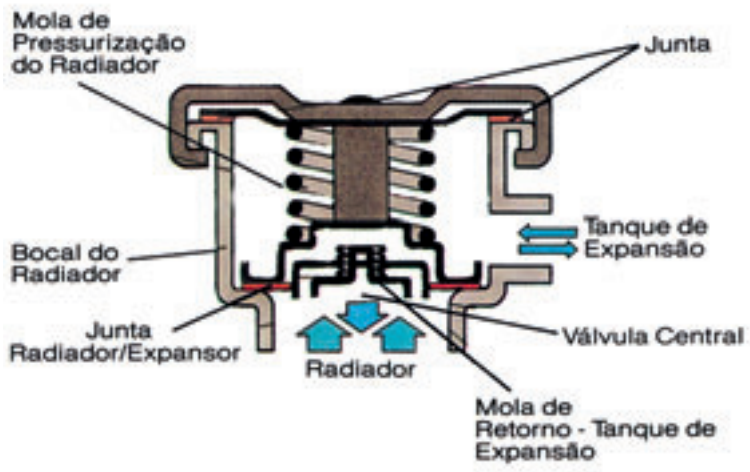


Fig. 2.43

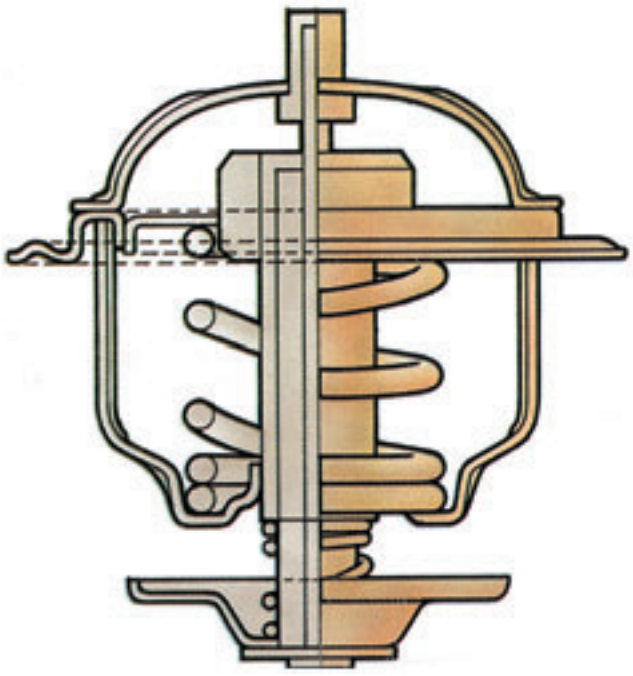


Fig. 2.44

PRINCIPAIS IRREGULARIDADES DOS MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA

3 — Principais irregularidades dos motores a combustão interna

3.1 — Introdução

Todo motor, como qualquer outro equipamento, sofre envelhecimento com o tempo e com o uso, chegando a apresentar falhas. No caso de motores a combustão interna, esses também podem apresentar defeitos decorrentes do desgaste da operação, ou mesmo manutenção e reparos inadequados.

Inicialmente daremos um relato dos fenômenos de combustão e dos efeitos da detonação e pré-ignição, e em seguida as causas mais comuns de falhas em motores a combustão interna.

3.2 — Combustão

Combustão normal

A combustão normal num motor Ciclo Otto é aquela que produz uma queima controlada da mistura ar/combustível, e que gasta de 1 a 4 milésimos de segundo do início ao término da mesma.

Imediatamente após a mistura ser ignizada pela centelha da vela, a frente da chama propaga-se a partir do ponto de ignição, na forma de círculos sempre crescentes, com velocidade de até 80 km/h.

Como a mistura queima numa velocidade controlada, os gases são aquecidos e a sua temperatura pode alcançar valores de 1.100ºC até 1.600ºC. Junto com esse acréscimo de temperatura existirá, conseqüentemente, um aumento da pressão no cilindro. Esta, portanto, é a combustão normal que converte energia química em mecânica (Fig. 3.1). Qualquer outra combustão que não se processe dessa forma é considerada combustão anormal, tais como: detonação e pré-ignição.

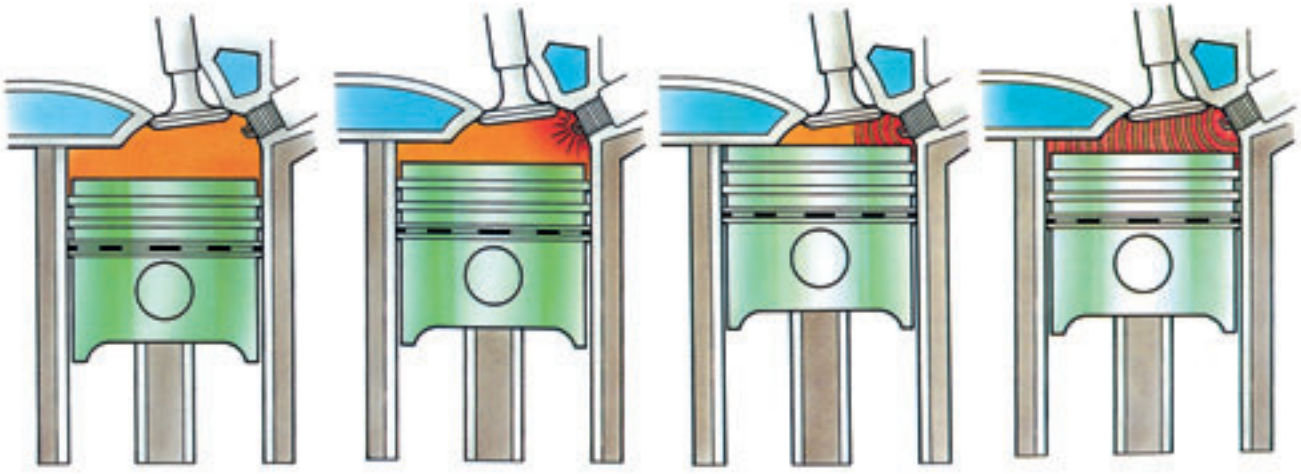


Fig. 3.1

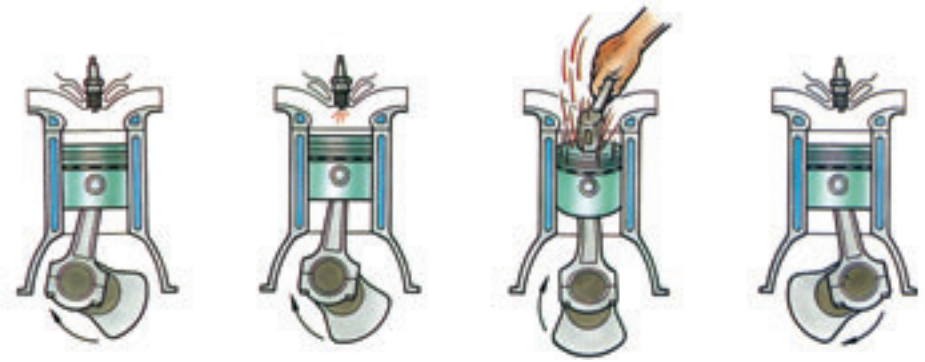


Fig. 3.2

Detonação

A detonação pode ser definida como uma combustão proveniente da reação rápida e espontânea de uma parte da mistura ar/combustível, quando esta é submetida a pressões e temperaturas crescentes originadas da combustão normal. A mistura é ignizada pela centelha da vela e a combustão se processa normalmente até que a frente de chama, avançando, superaquece, por compressão e radiação, os gases ainda não queimados. Surge então uma chama não controlada, que pode provocar algo semelhante a uma explosão na câmara. Essa frente de chama secundária avança com velocidade supersônica até colidir com a frente original, criando o ruído característico de "batida", que ressoa sobre as paredes e as superfícies da câmara (Fig. 3.2). A detonação cria uma explosão com pressões e velocidades violentas dentro da câmara. Como o motor não pode efetivamente utilizar essa energia, ela é dissipada na forma de calor e vibrações de alta freqüência, que podem exercer esforços sobre os pistões e os anéis além dos seus limites de resistência mecânica. Os topos dos pistões são perfurados, as cabeças sofrem erosão, as zonas dos anéis são fraturadas e os próprios anéis quebrados, tudo isso devido a essa energia não utilizável.

Além dessas forças tão destrutivas existe ainda o seguinte problema adicional. A queima da mistura no espaço de tempo muito curto devido à existência de duas frentes de chama, mais a velocidade da frente secundária, elevam a pressão e temperatura de combustão a níveis perigosos. O fluxo de calor adicional ultrapassa os limites de troca de calor do sistema de arrefecimento com a câmara e as paredes do cilindro, causando um superaquecimento que irá favorecer cada vez mais a detonação (Fig. 3.3).

As principais causas que podem provocar a detonação são:

- combustível inadequado com baixo índice de octana;
- taxa de compressão muito alta;
- má regulagem da mistura ar/combustível;
- ignição muito avançada;
- carga excessiva do motor;
- depósitos de carvão nos pistões ou no cabeçote.

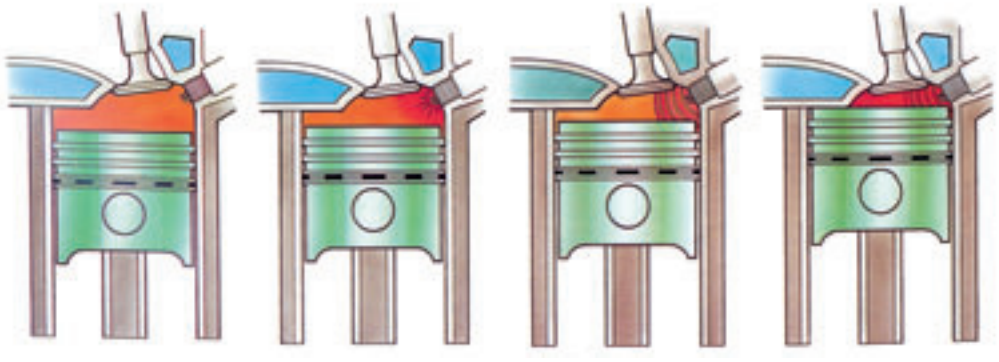


Fig. 3.3

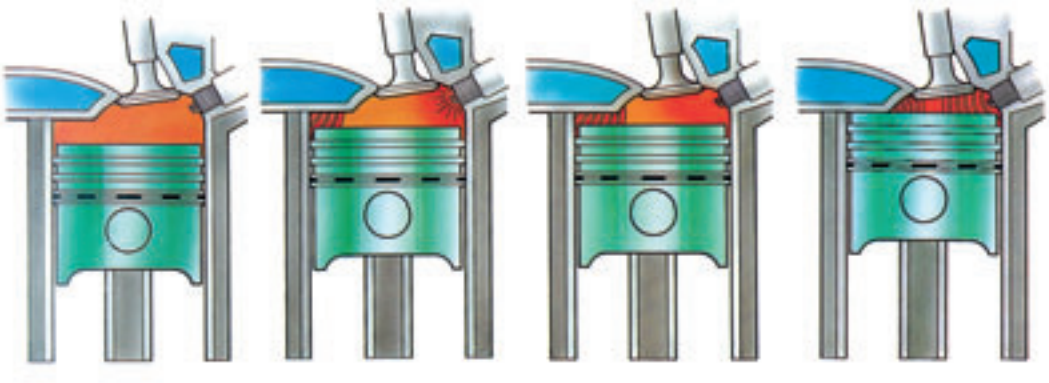


Fig. 3.4

Pré-ignição

A pré-ignição provoca a queima da mistura antes do tempo normal de combustão (muito cedo), ao contrário da detonação que a atrasa. A pré-ignição ocorre quando a mistura ar/combustível é queimada por um fonte não controlada antes de ser ignizada pela faísca da vela.

A pré-ignição pode destruir um motor em minutos. Ela provoca uma reação muito rápida da mistura ar/combustível, porque cria duas frentes de chama sendo queimadas simultaneamente (Fig. 3.4). Isto gera altas temperaturas, às vezes acima de 2.200ºC, e, ao mesmo tempo, as pressões de pico são aproximadamente o dobro (cerca de 8.200 kPa contra 4.100 kPa) das pressões da combustão normal (Fig. 3.5).

O instante dessas pressões de pico agrava ainda mais o problema. Como a mistura foi queimada prematuramente, a pressão de pico é normalmente atingida um pouco antes do PMS. Isso deixa menos espaço para os gases em combustão, o que aumenta as pressões de pico. Entretanto, o pistão está sendo forçado para cima contra uma chama do tipo “maçarico”. E, embora o pistão esteja próximo do PMS, as paredes do cilindro ficam pouco expostas havendo assim uma área menor da sua superfície para troca de calor.

À medida que a temperatura das peças se eleva, a pré-ignição começa a ocorrer cada vez mais cedo no ciclo, adiantando-se à faísca da vela e diminuindo a potência do motor.

No caso de motores monocilíndricos, a potência iria diminuindo progressivamente até que o motor viesse a parar. Nos multicilíndricos, os outros cilindros mantêm o motor em movimento o que acaba causando a falha do cilindro com pré-ignição. Normalmente, as excessivas pressões e temperaturas resultantes da pré-ignição chegam a ocasionar até um furo no topo do pistão.

As principais causas de ocorrência da pré-ignição são:

- depósitos de carvão que permanecem incandescentes;
- velas de tipo excessivamente quente para o motor;
- detonação e suas causas;
- combustível inadequado;
- pontos quentes nas câmaras de combustão;
- cabos de vela de dois cilindros adjacentes separados de 90º na rotação, e um a seguir do outro na ordem de ignição.

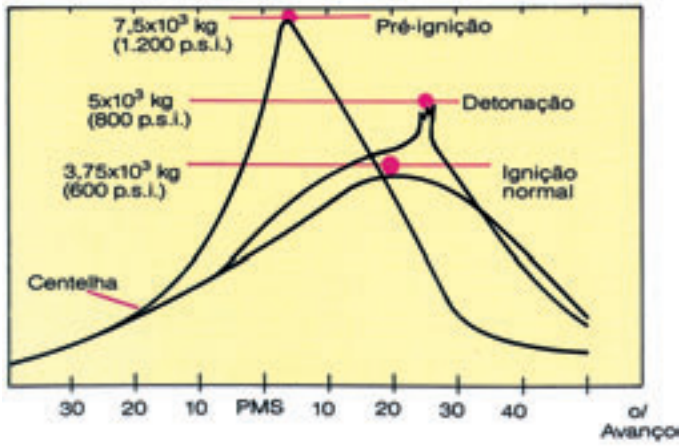


Fig. 3.5

3.3 — Causas do baixo rendimento dos motores

Os principais sintomas de funcionamento anormal de um motor são:

- baixa pressão de óleo;
- consumo de combustível acima do normal;
- consumo excessivo de óleo lubrificante;
- falhas de funcionamento;
- ruídos no motor;
- superaquecimento.

Baixa pressão de óleo

Cada modelo de motor funciona sob uma pressão de óleo especificada para uma determinada rotação. A queda de pressão de óleo pode ser causada principalmente por:

- bomba de óleo com desgaste ou defeituosa;
- diluição do óleo lubrificante por água ou combustível;
- filtro de óleo parcialmente obstruído;
- folga excessiva nas bronzinas;
- peneira de sucção parcialmente obstruída;
- superaquecimento do motor;
- válvula de alívio de pressão defeituosa.

Consumo de combustível acima do normal

Isto pode ser causado, principalmente, por:

- condições defeituosas das válvulas;
- falhas no carburador ou na bomba injetora e/ou no bico injetor;
- método e condição de operação do veículo;
- perda de compressão devido a anéis gastos e camisas ou cilindros na mesma condição;
- ponto de injeção ou ponto de ignição fora do especificado.

Consumo excessivo de óleo lubrificante

Indica que uma excessiva quantidade de óleo lubrificante está chegando à câmara de combustão e se queima ali.

Esta condição pode ser causada principalmente por:

- alteração da pressão de abertura da válvula de alívio de pressão;
- anéis gastos, presos e/ou quebrados;
- camisas ou cilindros gastos;
- hastes e guias das válvulas com desgaste;
- vazamentos através de juntas e retentores.

Quando a fumaça de escape apresenta uma coloração azul clara, ela indica que está havendo um consumo de óleo lubrificante. Contudo deve ser observada a especificação do consumo de óleo estabelecida pelo fabricante do motor (Fig. 3.6).

Falhas de funcionamento

As causas mais comuns de falhas de funcionamento são as seguintes:

- carburador, bomba injetora ou bico injetor com regulagem inadequada;
- contaminação do combustível;
- detonação;
- entrada falsa de ar no sistema de alimentação;
- falhas no sistema de ignição ou no sistema de injeção;
- motor superaquecido;
- perda de compressão através dos anéis ou das válvulas;
- velas sujas e inadequadas.

Ruídos no motor

Os ruídos no interior do motor, em algumas ocasiões, são de difícil localização e podem ser causados principalmente por:

- detonação;
- folga e/ou desgaste axial excessivo do virabrequim;
- folga e/ou desgaste excessivo das bronzinas;
- folga e/ou desgaste excessivo entre os elementos de sincronismo do comando (tuchos, balancins, válvulas, correntes, etc);
- folga e/ou desgaste lateral excessivo das bielas;
- folga e/ou desgaste excessivo das buchas de pé de biela;
- folga e/ou desgaste excessivo entre o pistão e o cilindro.

CONSUMO DE ÓLEO LUBRIFICANTE

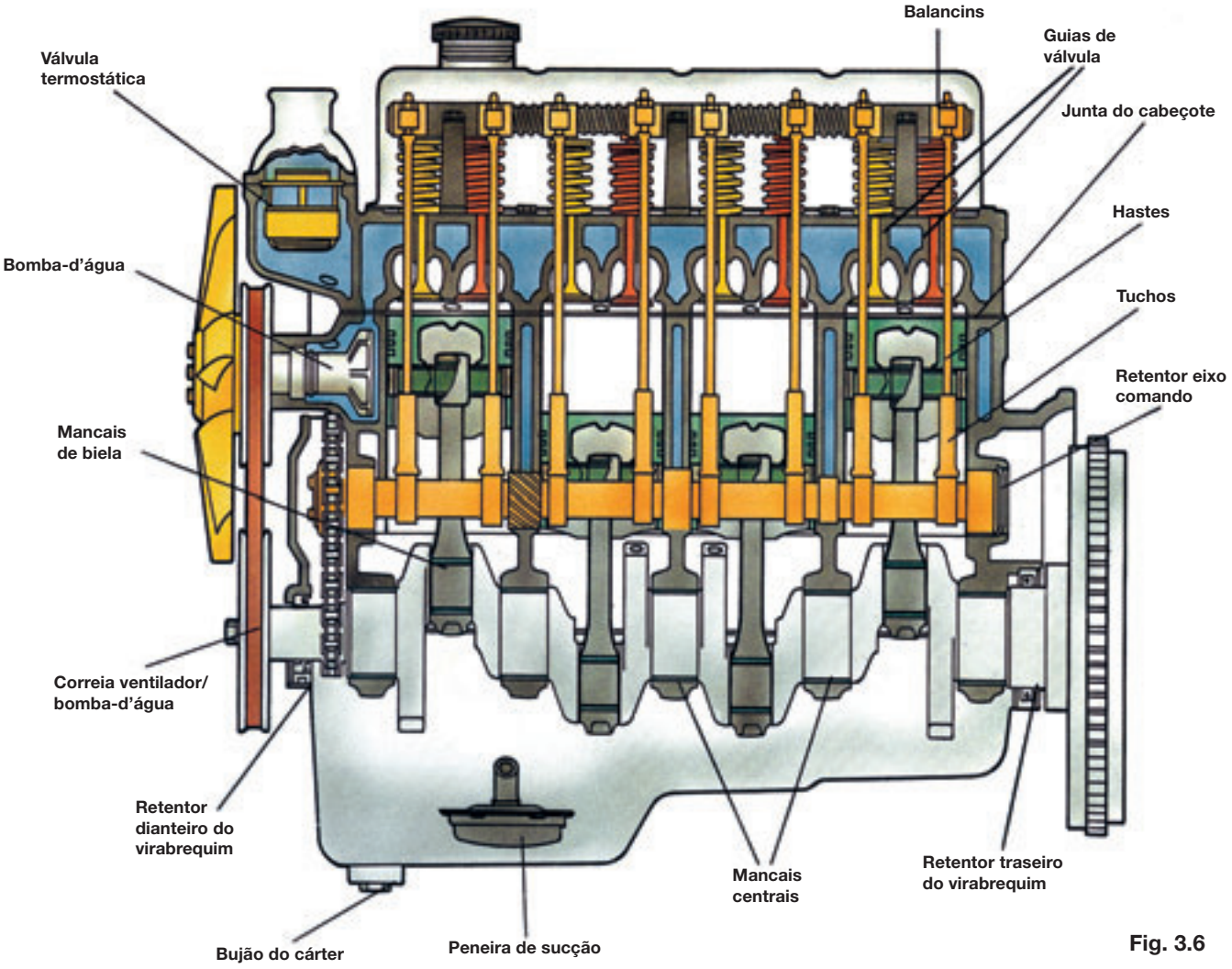


Fig. 3.6

Superaquecimento

O superaquecimento pode ser causado principalmente por:

- bomba-d'água defeituosa;
- correia do ventilador ou da ventoinha frouxa ou rompida;
- falta de água no sistema de refrigeração;
- ponto de ignição ou ponto de injeção incorreto;
- radiador obstruído;
- tampa do radiador defeituosa;
- válvula termostática operando inadequadamente.

Resumo

Para restaurar a eficiência da operação de um motor, deverão ser analisados todos os fatores anteriormente descritos que podem contribuir para o funcionamento anormal do motor.

O mecânico deverá determinar e realizar todo o trabalho que seja necessário para corrigir as falhas e deixar o motor em condições normais de funcionamento.

PISTÕES

4 — Pistões

4.1 — Objetivos e princípio de funcionamento

O pistão constitui a parede móvel da câmara de combustão. Por isso fica submetido às altas temperaturas aí reinantes e também a esforços mecânicos devido à pressão dos gases.

Estas pressões, que na cabeça do pistão alcançam de 4 a 9 Mpa (90 atmosferas) no motor a gasolina e até 180 Mpa (1.800 atmosferas) no motor diesel, dão origem a tensões de trabalho na saia de 40 a 60 N/cm.

A inclinação da biela dá origem a uma componente perpendicular à parede do cilindro, que também vai exigir do pistão qualidades de resistência ao desgaste.

Portanto, os esforços mecânicos provêm das forças resultantes da pressão dos gases, das forças de inércia devidas às massas em aceleração ou desaceleração (pistão, anéis, pinos, parte da biela), forças devidas à reação da parede do cilindro proveniente da inclinação da biela e, especialmente, nas paredes das canaletas, forças devidas aos anéis (inércia e vibração). O consumo de óleo e a vedação entre a câmara de combustão e o cárter dependem da precisão da usinagem do cilindro e dos anéis. Mas, através das canaletas, o pistão desempenha o importante papel de garantir apoio uniforme e correto aos anéis, e também transferir para o cilindro uma parte do calor gerado através do controle do fluxo de calor.

4.2 — Nomenclatura do pistão

No sentido de se obter uma maior padronização no uso das denominações das diversas partes componentes do pistão, damos a seguir a nomenclatura adotada, bem como a definição dos principais termos (Figs. 4.2.1, 4.2.2 e 4.2.3). O termo recomendado pela ABNT é “êmbolo”. Preferimos conservar a designação “pistão”, que nos é mais familiar e semelhante às de outras línguas.

Pistão

Peça de forma cilíndrica, geralmente de liga de alumínio ou ferro fundido, fechada na parte superior e aberta na parte inferior, adaptando-se perfeitamente ao diâmetro do cilindro ou da camisa do motor. O pistão transmite, através de um movimento alternado, a força, devido à pressão dos gases em expansão, por intermédio do pino e da biela, para o virabrequim.

Nomenclatura

DP = Diâmetro Nominal do Pistão
KH = Altura de Compressão + Saliência (Ressalto) = Depressão (Rebaixo)
GL = Comprimento Total do Pistão
S = Espessura da Cabeça
F = Zona de Fogo
ZA = Zona dos Anéis
SL = Comprimento da Saia
AA = Distância entre os Cubos
DCA = Distância entre Canaletas para Argola
BO = Diâmetro do Furo para Pino
ST = Espessura da Parede entre Canaletas
LC = Largura da Canaleta
DFC = Diâmetro do Fundo da Canaleta

NOMENCLATURA DO PISTÃO

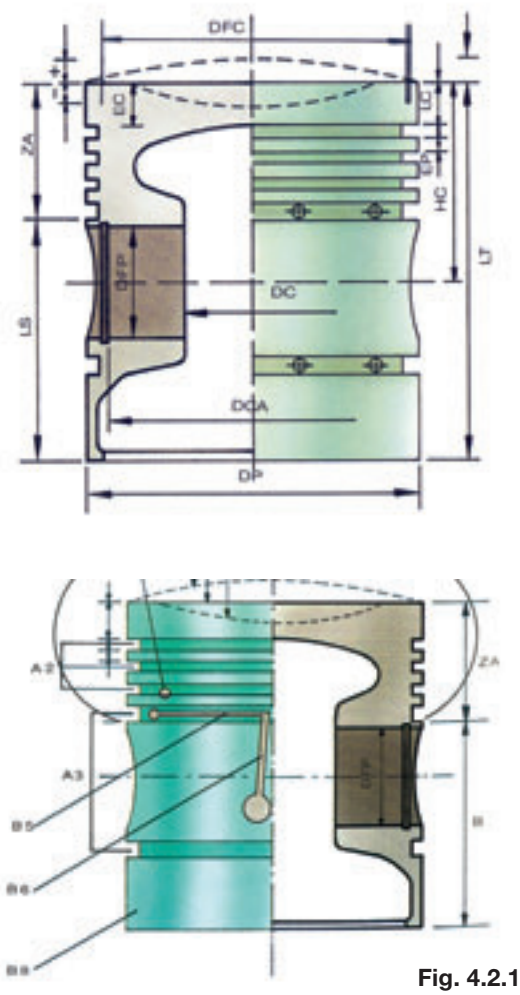


Fig. 4.2.1

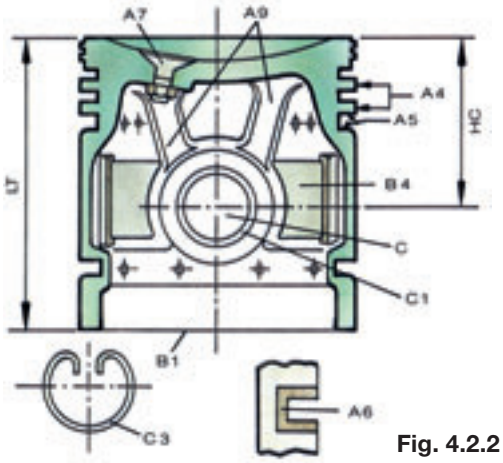


Fig. 4.2.2

A — Cabeça

Parte superior do pistão, situada acima da saia, onde estão localizadas todas ou quase todas as canaletas para anéis.

A1 — Topo

Superfície superior da cabeça contra a qual os gases de combustão exercem pressão. Pode ser plana, côncava, convexa, possuir rebaixos para válvulas, câmaras de combustão, etc.

ZA — Zona dos anéis

Parte da cabeça onde estão localizadas as canaletas para os anéis.

KH — Zona de fogo

Parte da zona dos anéis compreendida entre o topo e a 1ª canaleta. Nesta zona poderão existir ressaltos ou ranhuras para redução do atrito com a parede do cilindro e atuar como barreira térmica.

A2 — Canaletas para anéis de compressão

Canaletas situadas ao longo da circunferência do pistão, na parte superior da zona dos anéis.

A3 — Canaletas para anéis de óleo

Canaletas ao longo da circunferência do pistão, na parte mais baixa da zona dos anéis e em alguns casos também na saia do pistão. São geralmente mais largas do que as para anéis de compressão e têm orifícios ou fendas no fundo para o retorno do óleo lubrificante.

A4 — Paredes entre canaletas

As partes da zona dos anéis que separam duas canaletas entre si.

A5 — Fundo das canaletas

Profundidade das canaletas que limita o movimento radial dos anéis.

A6 — Porta-anel

Uma ou mais inserções de aço ou de ferro fundido,

num pistão de liga de alumínio ligada, metalúrgica ou mecanicamente, durante o processo de fundição nas quais são usinadas canaletas para anéis de compressão.

A7 — Plugue

Peça de aço, inserida no topo do pistão de motores diesel, com a finalidade de proteger a zona de injeção.

A8 — Pinos de segurança

Pinos inseridos nas canaletas com a finalidade de evitar a rotação dos anéis, geralmente usados nos motores de dois tempos.

A9 — Nervuras

Reforços nas paredes internas do pistão.

B — Saia

Parte do pistão compreendida entre a cabeça e a boca. A saia forma uma superfície de deslizamento e guia do pistão dentro do cilindro.

B1 — Boca

A extremidade inferior aberta do pistão.

B2 — Superfície de contato de maior pressão

Parte da saia do pistão que suporta o maior esforço lateral.

B3 — Superfície de contato de menor pressão

Parte da saia do pistão diametralmente oposta à superfície de contato de maior pressão.

B4 — Chapas autotérmicas

Chapas de aço inseridas na parte interna do pistão, na região dos cubos, durante o processo de fundição.

B5 — Fendas transversais

Cortes no fundo da canaleta de óleo, ou logo abaixo da mesma, com a finalidade de permitir passagem de óleo, servir como barreira térmica e dar maior flexibilidade à saia.

NOMENCLATURA DO PISTÃO

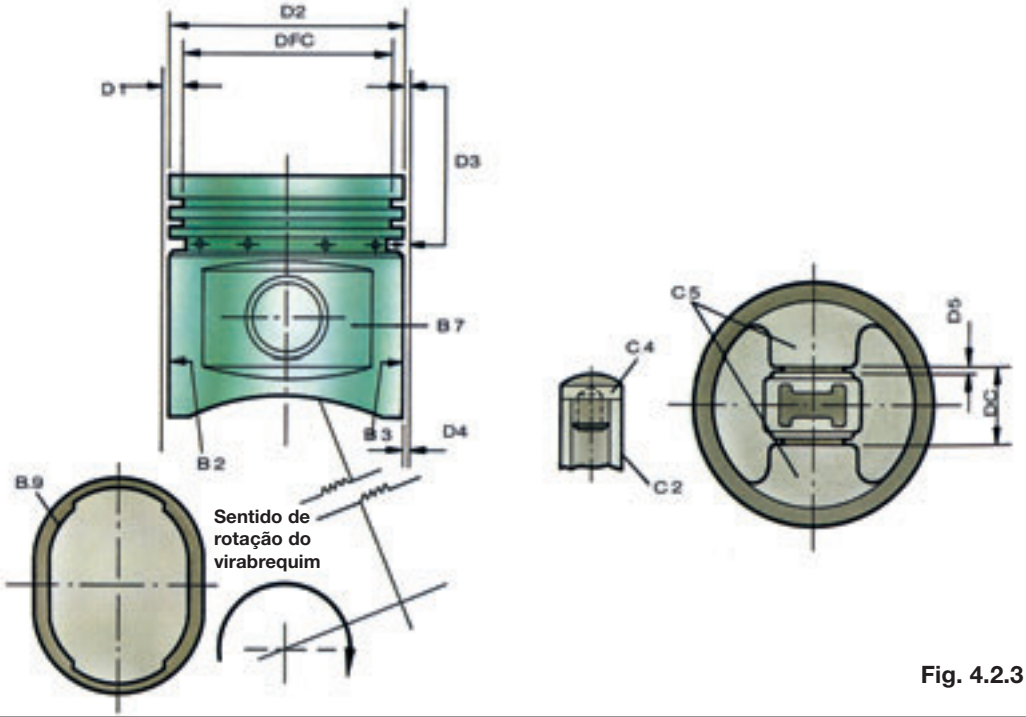


Fig. 4.2.3

B6 — Fendas longitudinais
Corte na saia, com a finalidade de permitir maior elasticidade da mesma e de controlar a sua expansão térmica.

B7 — Espelhos
Rebaixos existentes na saia, na região do furo para pino, geralmente não usinados.

B8 — Excêntricos
Rebaixos usinados na saia, na região do furo para pino. Distinguem-se dos espelhos por serem de pequena profundidade e concordarem com a ovalização do pistão.

B9 — Anel autotérmico
Anel de aço engastado no pistão, durante o processo de fundição. Tem a finalidade de controlar a dilatação térmica.

C — Furo para pino do pistão
Furo situado na saia para alojamento do pino do pistão. Nas extremidades da superfície interna do furo para pino, podem haver canaletas para alojamento de travas do pino.

O furo para pino pode ser centrado ou deslocado lateralmente em relação à linha de centro do pistão.

C1 — Bucha do furo para pino do pistão
Bucha de metal colocada no furo para o pino do pistão, usada geralmente em pistões de ferro fundido.

C2 — Pino do pistão
Peça de aço, tratada termicamente, que serve de articulação entre o pistão e a biela.

C3 — Travas
Peças de aço, geralmente em forma de argola, destinadas a limitar o movimento longitudinal do pino.

C4 — Protetores do cilindro
Peças de alumínio montadas nas extremidades do pino, a fim de evitar o contato do mesmo com as paredes do cilindro.

C5 — Cubos
Partes internas do pistão, onde se localiza o furo para pino.

D1 — Profundidade das canaletas
Metade da diferença entre o diâmetro do cilindro e o diâmetro do fundo das canaletas.

D2 — Diâmetro da zona dos anéis
Diâmetro do pistão na zona de fogo e nas paredes entre as canaletas. Em certos pistões, todos esses diâmetros são iguais. Em outros, os diâmetros são crescentes a partir do topo do pistão.

D3 — Folgas na zona dos anéis
Diferenças entre os diâmetros da zona dos anéis e o diâmetro dos cilindros (D3 indica metade da folga).

D4 — Folga na saia
Diferenças entre o maior diâmetro da saia do pistão e o diâmetro do cilindro (D4 indica metade da folga).

D5 — Folga cubos-biela
Diferença entre a largura da biela e a distância entre cubos (D5 representa a metade da folga).

Conicidade da saia do pistão
Diferença entre o maior diâmetro da parte inferior e o diâmetro da parte superior da saia, sendo os diâmetros medidos nas superfícies de contato.

Ovalidade do pistão
Forma circunferencial do pistão para proporcionar contato e folga adequada com o cilindro sob todas as condições normais de temperatura e carga.

4.3 — Tecnologia dos pistões

QUADRO COMPARATIVO — EVOLUÇÃO DOS PISTÕES

	Motor Benz (1886) ø 90 mm (4 tempos)	Motor Ciclo Otto Atual ø 85 mm	Evolução
Material do pistão	ferro fundido	liga de alumínio	—
Peso do pistão, sem acessórios	2.200 g	320 g	85,5% ↓
Máxima rotação do motor	300 rpm	6.000 rpm	1.900% ↑
Peso do motor/potência	58 kg/cv	1,44 kg/cv	97,5% ↓
Relação de compressão	3,5 : 1	8,5 : 1	143% ↑
Potência de cada pistão	1,7 cv	20,5 cv	1.100% ↑
Peso do pistão/potência do cilindro	1.294 g/cv	15,6 g/cv	98,8% ↓
Folga na saia do pistão	0,2 mm	0,02 mm	90% ↓

	Motor Benz (1886) ø 90 mm (4 tempos)	Motor Ciclo Diesel Atual	Evolução
Material do pistão	ferro fundido	liga de alumínio	—
Peso do pistão, sem acessórios	2.200 g	1.040 g	52,8% ↓
Máxima rotação do motor	300 rpm	2.890 rpm	863% ↑
Peso do motor/potência	58 kg/cv	3,0 kg/cv	94,8% ↓
Relação de compressão	3,5 : 1	17,25 : 1	393% ↑
Potência de cada pistão	1,7 cv	30 cv	1.664% ↑
Peso do pistão/potência do cilindro	1.294 g/cv	34,7 g/cv	97,4% ↓
Folga na saia do pistão	0,2 mm	0,11 mm	45% ↓

Evolução

Um estudo comparativo mostra que as exigências anteriores vêm se tornando cada vez mais rigorosas com a evolução dos motores. A tabela que segue apresenta uma comparação entre o primeiro motor de quatro tempos de Benz, de 1886, e motores Ciclo Otto e Ciclo Diesel representativos de veículos atuais.

Naquela época o material usado para pistões era o ferro fundido, escolha natural quando se considera que o bloco também é deste material e que não havia um processo adequado de refino do alumínio.

Enquanto nos motores Ciclo Otto o peso do pistão diminuiu cerca de sete vezes, o número de rotações por minuto aumentou vinte vezes, fator este que entra elevado ao quadrado no cálculo das forças de inércia.

A relação de compressão aumentou mais que o dobro, com o conseqüente aumento nas pressões dos gases, e a folga, reduzida à décima parte, veio exigir um estudo da forma do pistão e da precisão de usinagem.

Os esforços sobre o pistão podem ser comprovados pelo seguinte índice — peso de pistão dividido pelo número de cavalos-vapor. Este índice, conforme tabela a seguir, caiu de 1.924 gramas por cavalo para 15,6 gramas por cavalo, portanto uma redução de 98,8%.

Temperaturas

Voltando ao problema da temperatura, a Figura 4.3.1 sintetiza uma distribuição típica da mesma, na cabeça e ao longo da saia do pistão para um motor Ciclo Diesel (à esquerda) e para um motor Ciclo Otto (à direita), em condições de plena potência.

DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURAS EM PISTÕES DURANTE O FUNCIONAMENTO

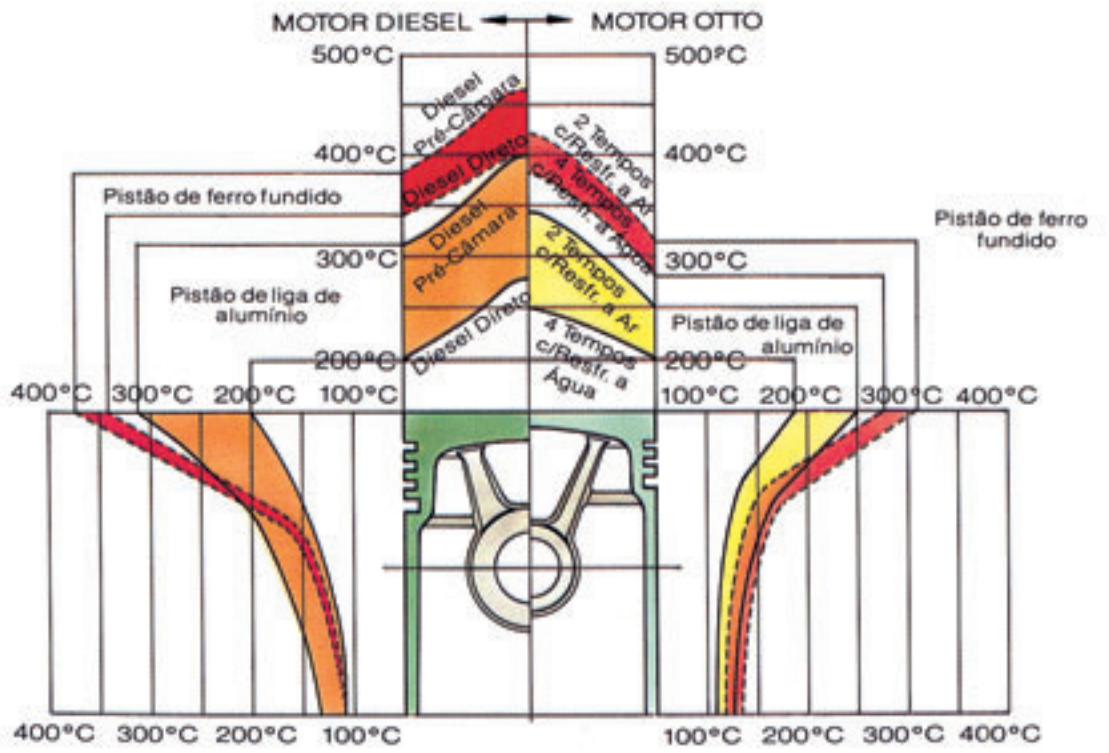


Fig. 4.3.1

Em ambos os casos aparecem faixas de temperatura alcançadas nos pistões de ferro fundido e ligas de alumínio. Os limites superiores de temperatura são os casos mais desfavoráveis (pré-câmara no diesel e dois tempos arrefecidos a ar no à gasolina) e os limites inferiores de temperatura, os casos mais favoráveis (injeção direta no diesel e quatro tempos arrefecidos à água no Ciclo Otto).

Pode-se verificar que, felizmente, embora a temperatura dentro da câmara de combustão alcance mais de 2.000ºC, a temperatura máxima do pistão no caso do Ciclo Diesel com pré-câmara, que é o mais crítico, pode alcançar: com pistão de ferro fundido, 460ºC e com pistão de liga de alumínio, 400ºC. No motor Ciclo Otto de dois tempos, os máximos seriam, respectivamente, 420ºC para o pistão de ferro fundido e 340ºC para o pistão de ligas de alumínio. Nos dois ciclos a temperatura na saia é bem menor, situando-se na faixa de 120ºC a 200ºC.

A menor temperatura máxima de trabalho dos pistões de liga de alumínio, tem permitido o uso de relações de compressão mais elevadas do que as que seriam possíveis com ferro fundido, devido aos riscos de pré-ignição, como pode ser verificado pelos dados da tabela anterior.

O pistão de ferro fundido atualmente está sendo utilizado quase exclusivamente nos motores Ciclo Diesel.

Materiais

Atualmente, as ligas mais usadas para pistões são as ligas de alumínio-silício e alumínio-cobre. Pelas suas boas características mecânicas e resistência ao desgaste, são as ligas de alumínio-silício as mais utilizadas na fabricação de pistões.

A típica representante deste grupo de ligas é a ML-124, cuja aplicação é extremamente ampla e diversificada. Nos casos em que o desempenho esperado do pistão é dependente de uma maior resistência ao desgaste ou de reduzidas folgas de montagem, recorre-se às ligas com teores mais altos de silício. Para estes casos, uma das opções é a ML-138.

Fig. 4.3.2

Uma conciliação de características com propriedades mecânicas superiores é obtida pelo forjamento das ligas. Pistões forjados suportam condições mais severas de funcionamento e são empregados em motores de serviço pesado.

Quando a resistência em altas temperaturas for requisito imprescindível, a alternativa é recorrer às de alumínio-cobre, como a liga ML-Y. Opções intermediárias são as ML-132 e ML-332. Características especiais de resistência e excelente homogeneidade microestrutural fazem das ligas AMS aquelas reservadas aos pistões forjados dos motores de aviões. Os fatores mais importantes na escolha de uma liga para pistão são: coeficiente de dilatação, resistência ao desgaste, peso específico ou densidade, além, naturalmente, da resistência mecânica, especialmente a quente.

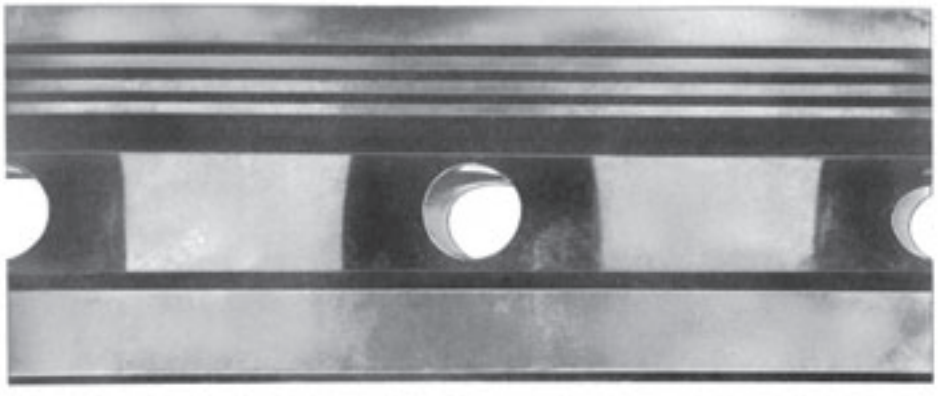


Fig. 4.3.3

A resistência ao desgaste, principalmente nas regiões das canaletas, é decisiva quanto à vida útil dos pistões e não pode ser avaliada a uma simples vista das mesmas. A Figura 4.3.2 apresenta pistões diesel fabricados pela Metal Leve S.A. com mais de 360.000 km de uso.

A Figura 4.3.3 é a fotografia de um desses pistões desenvolvida 360º, podendo-se observar o perfeito estado das superfícies. As fotos das canaletas em corte mostram que somente na primeira houve desgaste, enquanto que as demais nada sofreram (Figs. 4.3.4, 4.3.5, 4.3.6 e 4.3.7).

O desenvolvimento das ligas para pistões também está estreitamente ligado ao da tecnologia de usinagem. O silício, especialmente sob a forma de silício primário livre, devido à sua grande dureza (superior à do aço temperado), só permitiu a utilização de ligas de alumínio-silício hipereutéticas, quando a introdução da vídia e do diamante na tecnologia da usinagem tornou a mesma economicamente viável.

Ainda assim, são exigidos cuidados especiais na fundição, no sentido de garantir um tamanho adequado de cristais de silício e uma distribuição uniforme e controlada dos mesmos.

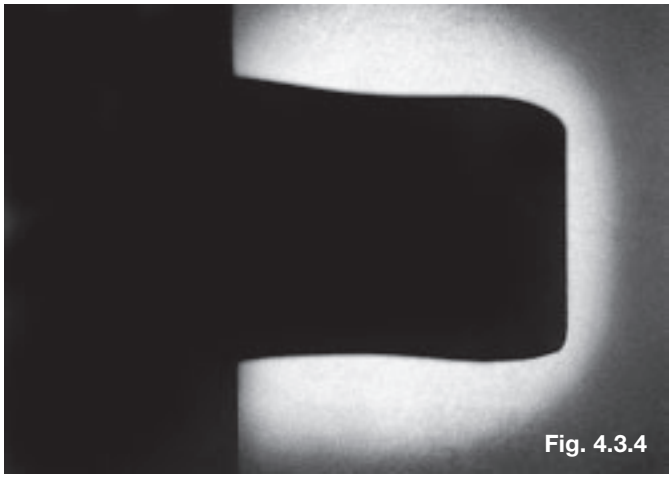


Fig. 4.3.4

Secção da 1ª canaleta do anel de fogo. Note-se o pequeno desgaste do pistão, após 360.000 quilômetros.

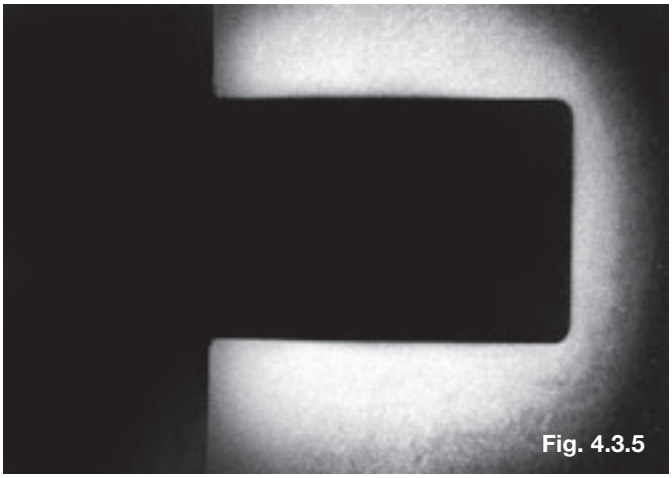


Fig. 4.3.5

Secção da 3ª canaleta, sem desgaste.

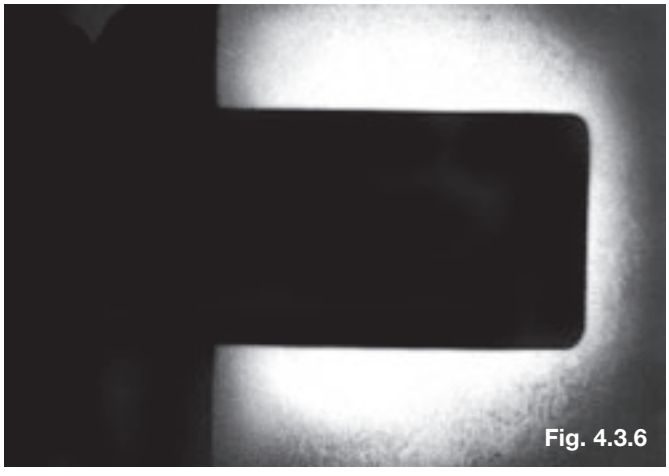


Fig. 4.3.6

Secção da 2ª canaleta, praticamente sem desgaste.

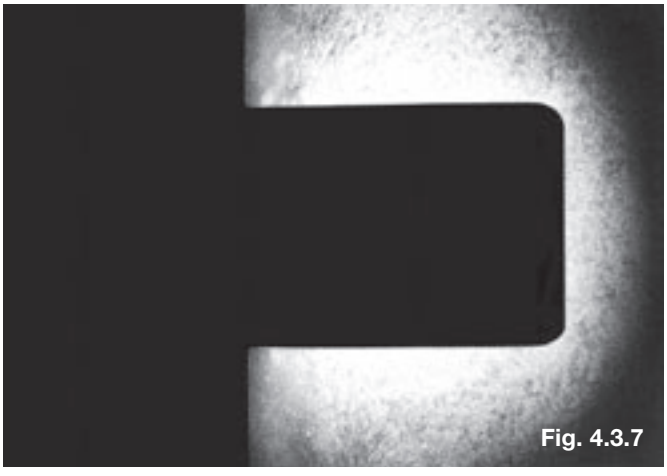
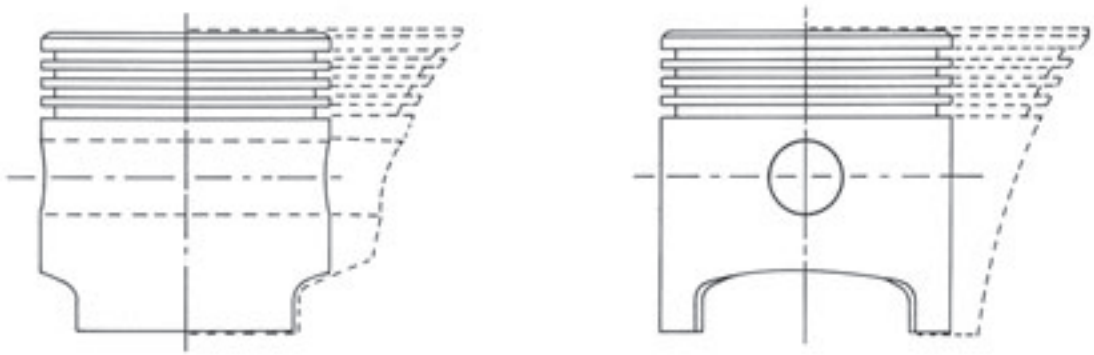


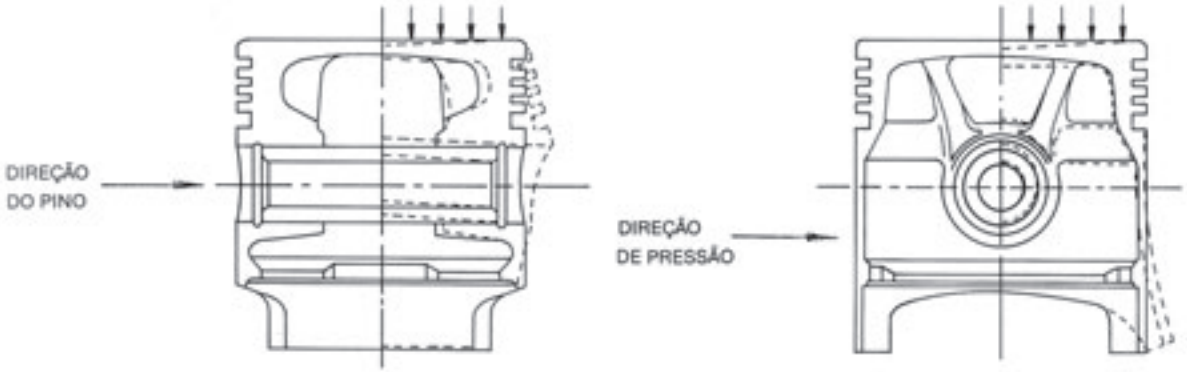
Fig. 4.3.7

Secção da 4ª canaleta, sem desgaste.

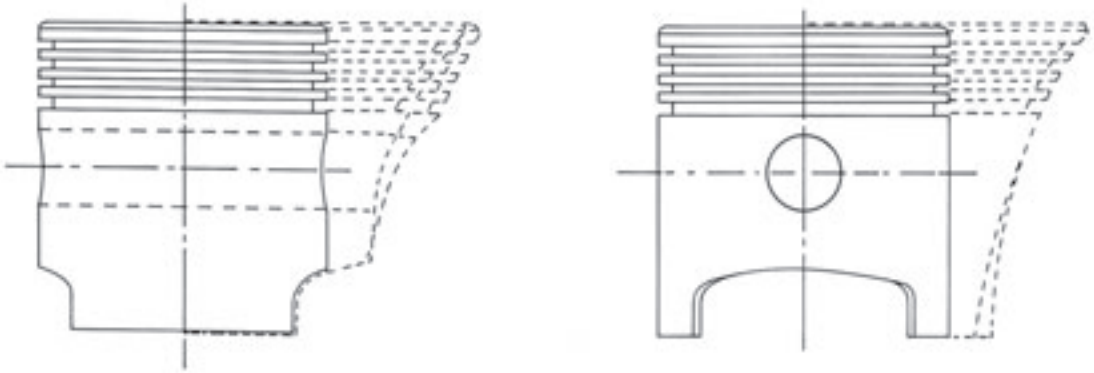
COMPENSAÇÃO DAS DEFORMAÇÕES DEVIDO À TEMPERATURA E PRESSÃO POR USINAGEM EM TORNO COPIADOR A DIAMANTE



DEFORMAÇÃO DEVIDO À TEMPERATURA DE SERVIÇO: DILATAÇÃO TÉRMICA



DEFORMAÇÃO ELÁSTICA SOB PRESSÃO DE TRABALHO



DEFORMAÇÃO DEVIDO À PRESSÃO E TEMPERATURA

Fig. 4.3.8

Forma do Pistão

A Figura 4.3.8 é uma síntese das tensões mecânicas e do campo térmico a que ficam submetidos os pistões em trabalho. Observa-se que tanto uma como a outra tendem a modificar a forma, tanto axial como radial do pistão.

A solução encontrada é usinar os pistões com perfil específico, de maneira que somente sob carga e sob as variações da temperatura de trabalho, ele adquira a forma do cilindro do motor.

FORMA DO PISTÃO — ABAULAMENTO E OVALIZAÇÃO OBTIDAS EM TORNO COM FERRAMENTA DE DIAMANTE.

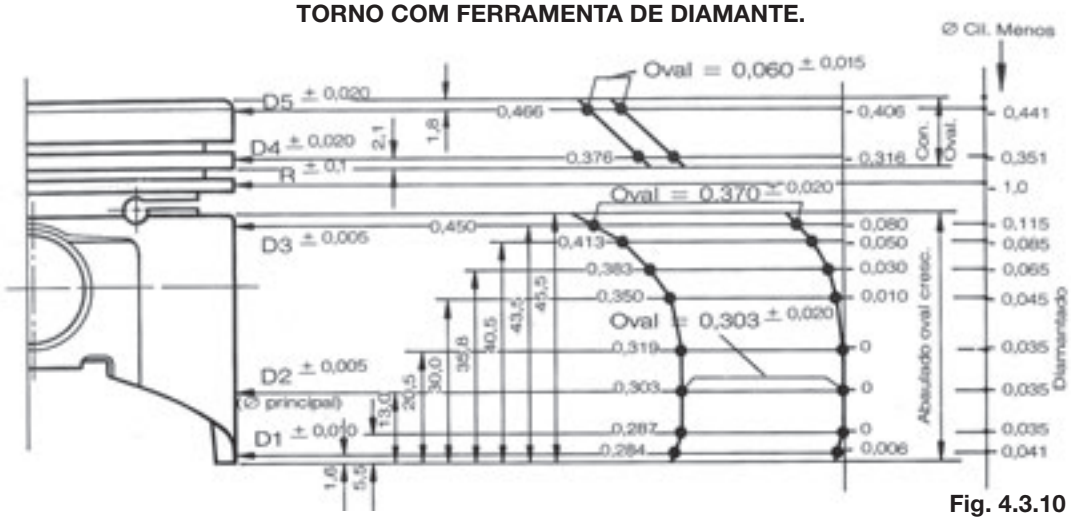


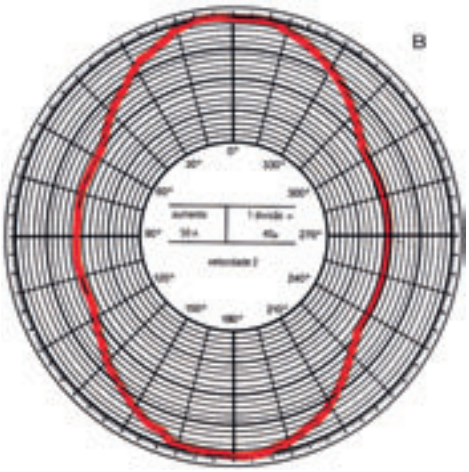
Fig. 4.3.10

A forma resultante é extremamente complexa, variando o raio ao longo do eixo e do qual resulta, por exemplo, a forma de barril. Como as secções resultantes não são também circulares, deve-se incorporar na usinagem a ovalização, como se observa na Figura 4.3.9. As tolerâncias de fabricação do pistão são da ordem de centésimo de milímetro, chegando no furo para pino a alguns milésimos de milímetro.

Essas tolerâncias exigem que a inspeção dimensional dos pistões seja efetuada em salas com a temperatura ambiente controlada, pois a própria dilatação do material com a variação da temperatura ambiente tem influência na precisão da usinagem.

De fato, no caso de uma liga com 25% de silício (hipereutética), o coeficiente de dilatação linear é de16,5 x 10^{-6} cm/ºC. Se a variação de temperatura for de 10ºC e o pistão tiver 100 milímetros de diâmetro, a variação do mesmo será de 10 x 100 x 16,5 x 10^{-6} = 0,016 mm acima da medida inicial.

Nota-se que aumentos de temperatura dessa ordem podem ser obtidos na usinagem por uso de ferramentas, ângulos de corte ou velocidades de corte incorretos.



Perfil de contato melhorado, mas ainda não perfeito.

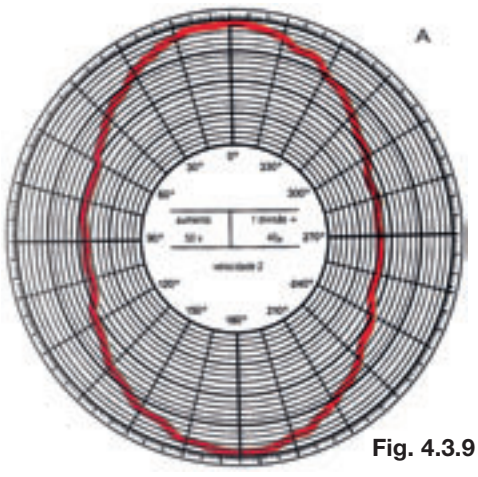
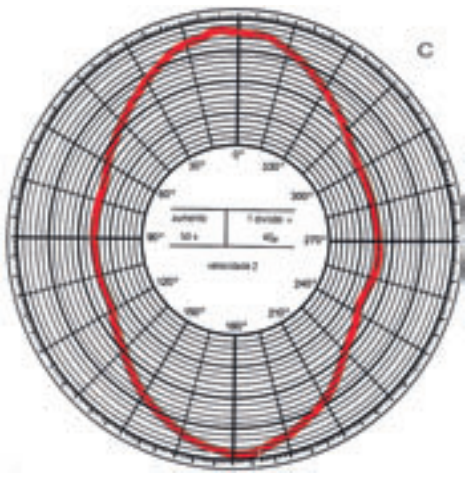


Fig. 4.3.9

Aperfeiçoamento da forma de ovalização. Notem-se, ainda, as grandes irregularidades do perfil de contato.



Perfil de contato muito bom, obtido após prolongado estudo de ovalização e conicidade e centenas de horas de ensaio.

FORMA TÍPICA DE PISTÕES

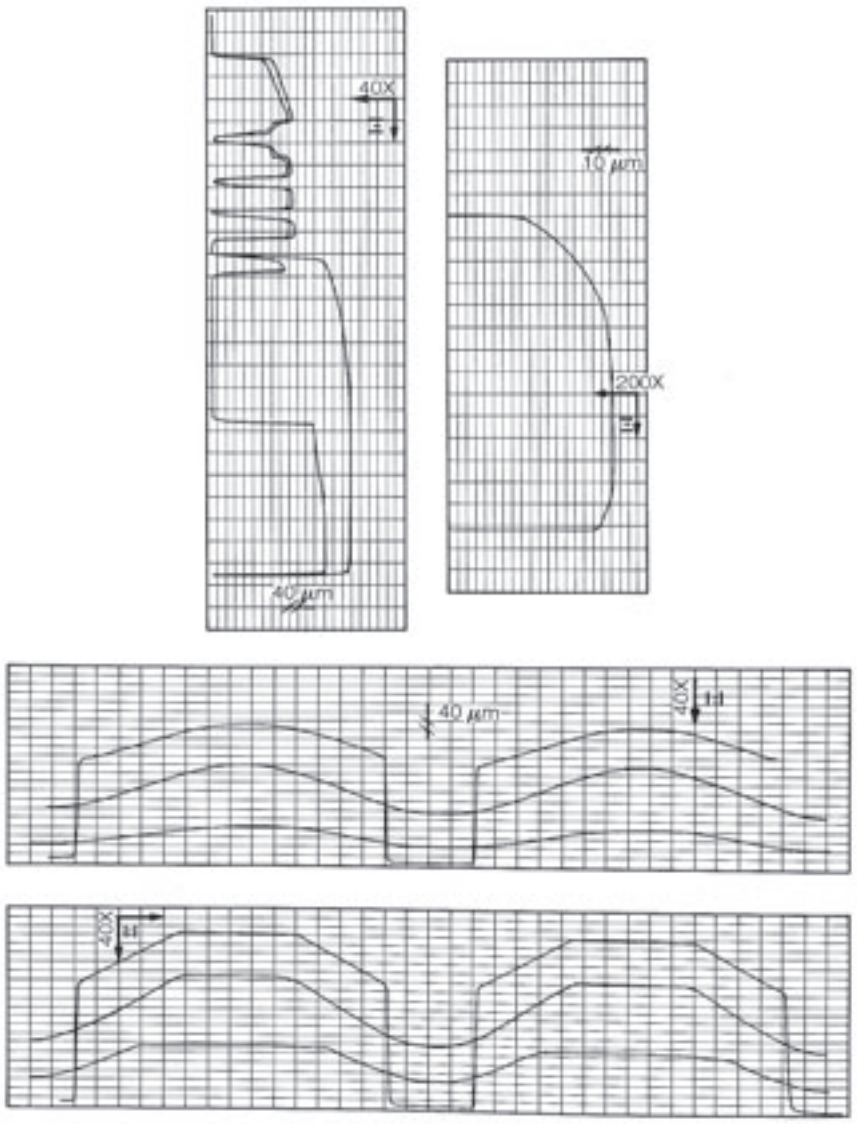


Fig. 4.3.11

A melhor forma externa de um pistão só é obtida após cálculos, testes e alguns ensaios em bancos de prova, nas condições de operação mais críticas do motor e pela análise cuidadosa da superfície de contato.

As Figuras 4.3.10 e 4.3.11, obtidas em aparelho de medição com registrador gráfico em escala radial ampliada, mostram formas típicas de pistões. Existem requisitos de precisão quanto à forma que só podem ser obtidos pela subdivisão das operações de usinagem. A da saia, em particular, tem de ser feita em vários estágios, em passos cada vez mais finos de maneira a reduzir o efeito das tensões internas e da crescente diminuição da rigidez.

A foto da Figura 4.3.12 mostra uma boa superfície de contato de um pistão diesel.

Fig. 4.3.12

Aspecto externo de um pistão diesel que já trabalhou. A região mais escura da saia é a área real de contato.

4.4 — Tipos de pistões

Existem muitos tipos diferentes de motores: Ciclo Otto e Ciclo Diesel arrefecidos a ar ou a água, com diâmetros de cilindros variando de 30 mm a 500 mm, monocilíndricos e pluricilíndricos. Portanto, um único tipo de pistão não é conveniente a todos os motores.

O tipo de pistão mais primitivo, e mais simples, é o da saia lisa, sem cortes. Exigia folga grande, a fim de evitar possível engripamento por não apresentar nenhuma compensação para sua dilatação. Seu uso ficou restrito aos motores que exigiam pistões robustos, para serviços pesados, caminhões, onde podia ser admitido um pistão mais barulhento.

A necessidade de reduzir as folgas de operação levou ao aparecimento dos pistões com fendas. A fenda ao longo da circunferência do pistão, entre a zona dos anéis e a saia, destina-se a reduzir o fluxo de calor para a saia, controlando a sua dilatação, enquanto a fenda ou fendas longitudinais se destinam a garantir uma certa elasticidade da saia e também controlar a sua expansão. Conforme o aspecto, temos os pistões com fenda em "U", ou em "T", como mostram as Figuras 4.4.1 e 4.4.2. Este é um tipo de pistão praticamente fora de uso.

PISTÃO COM FENDA EM "U" (INVERTIDO)

Fig. 4.4.1

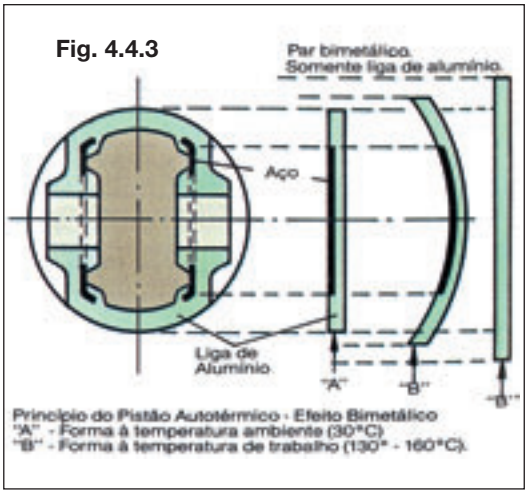
PISTÃO COM FENDA EM "T"

Fig. 4.4.2

Com o desenvolvimento dos motores exigindo folgas cada vez menores, surgiu a necessidade de se criar novas formas de controlar a dilatação térmica. Então foi idealizada uma chapa de aço de baixo carbono, engastada numa parede de alumínio, atuando como um par bimetálico, devido aos coeficientes de dilatação diferentes, curvando-se em função da temperatura conforme se pode observar na Figura 4.4.3. O resultado é um aumento menor da dimensão longitudinal do conjunto. Incorporando este princípio à construção dos pistões, foram obtidos os pistões de dilatação controlada, conhecidos como autotérmicos, em que a variação da folga entre o motor operando sem carga até a plena carga pode ser sensivelmente reduzida. Este tipo de pistão aparece nas Figuras 4.4.4, 4.4.5 e 4.4.6. Na Figura 4.4.7 vemos diversos tipos de chapas autotérmicas.

O pistão autotérmico atualmente é o tipo mais utilizado.

Fig. 4.4.3



No tipo mais aperfeiçoado — Figura 4.4.6 — chamado autotérmico de saia integral, o par bimetálico não exige solução de continuidade na superfície de contato da saia, tendo sido eliminados os espelhos. A maior expansão destes pistões, na direção do eixo do pino, é levada em conta no projeto da ovalidade. A exigência de potências específicas crescentes, decorrentes do aumento da relação de compressão e das rotações por minuto, viria ainda a exigir dos pistões maiores esforços. Quando a potência específica ultrapassou 0,4 cv/cm^2 de área da cabeça do pistão, a solução encontrada foi eliminar a fenda transversal substituindo-a por furos. A fenda transversal era responsável por um recalque térmico na zona dos anéis, obrigando os mesmos a trabalhar em temperaturas mais altas (num caso concreto: a eliminação da fenda abaixou em 25ºC a temperatura do primeiro anel) e responsável também pela diminuição da rigidez do pistão.

Em conseqüência da substituição dessa fenda por furos, o efeito bimetálico ficou atenuado na parte superior da saia, devido à maior transferência de calor para ela, e com isso foi introduzido no projeto de pistões o perfil em forma de barril. Estes pistões com furos, autotérmicos ou não, são usados preferencialmente nos motores muito solicitados, mecânica e termicamente, tanto no Ciclo Otto como no Ciclo Diesel. Um outro tipo de pistão, conhecido como "Conformatic" e "Clearomatic", tem certa analogia com o concreto protendido.

PISTÃO AUTOTÉRMICO COM ESPELHO

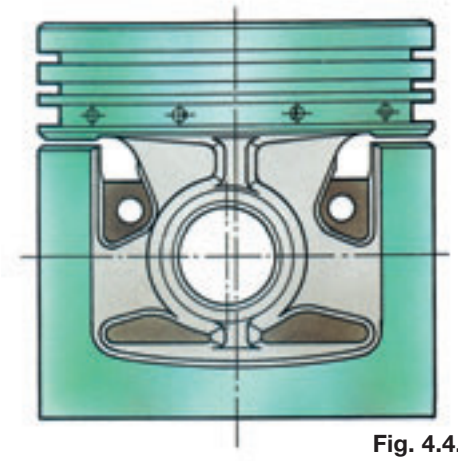


Fig. 4.4.4

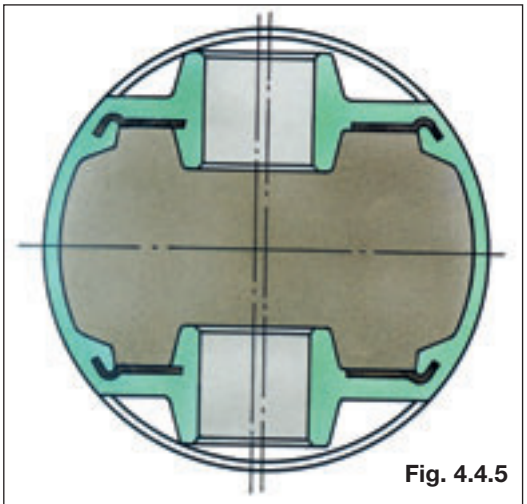


Fig. 4.4.5

Corte de um pistão autotérmico. Pode-se ver claramente a chapa de aço engastada no alumínio, formando um par.

Fig. 4.4.6

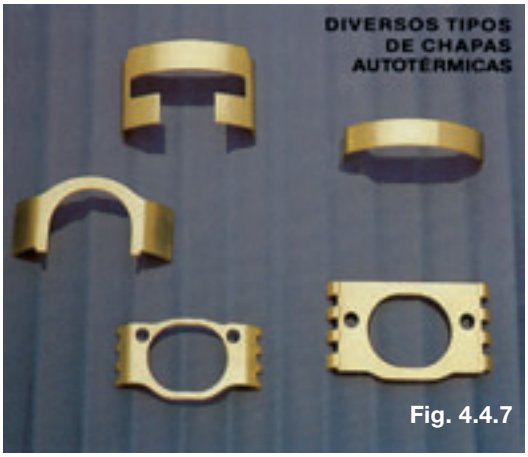


Fig. 4.4.7

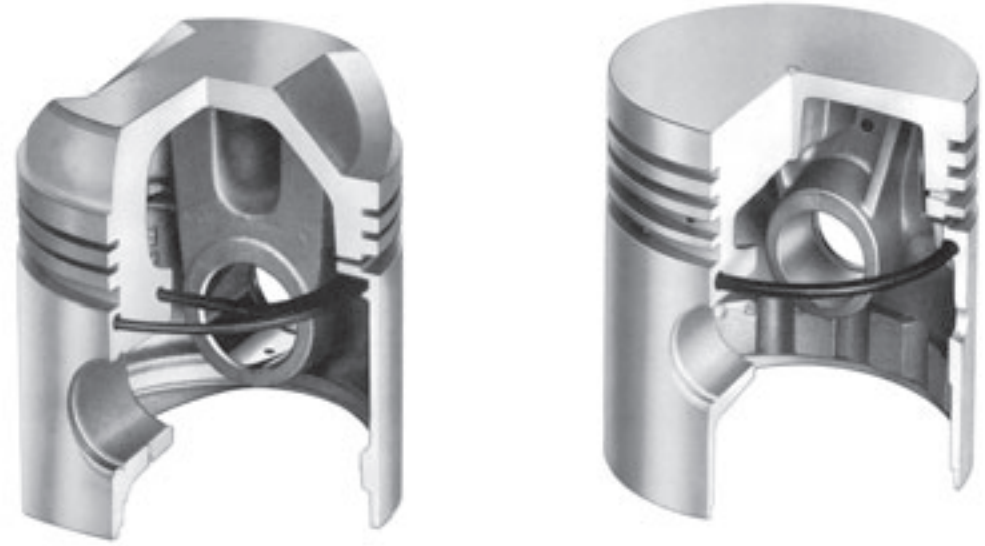
Nestes pistões (Fig. 4.4.8) um anel de aço é colocado, antes do vazamento da liga, na parte superior da saia, onde fica embutida. A secção deste anel pode ser quadrada, retangular, ou mesmo circular (Fig. 4.4.9).

O efeito desejado de menor expansão na direção do eixo de pressão decorre do fato de, no momento de resfriamento, a liga de alumínio envolvendo o anel ter sua contração livre impedida pelo mesmo, em conseqüência da diferença de coeficientes de dilatação. O anel fica sob tensões de compressão e o metal em volta sob tensões de tração. O pistão, ao ser aquecido no motor, terá as suas tensões residuais reduzidas e a expansão será menor.

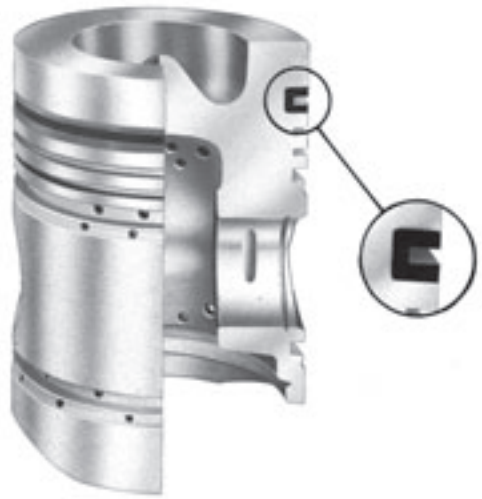
O efeito de regulagem na direção do eixo de pressão é acentuado pelo fato da saia na região dos cubos do pistão estar ligada à cabeça do mesmo mais firmemente, sendo obrigada a seguir mais a expansão da cabeça, e as regiões de pressões, em conseqüência, serem deslocadas para dentro. É fácil compreender que o efeito regulador dos anéis de aço está limitado às regiões próximas à sua localização, portanto o efeito geral de controle da expansão destes pistões será menor do que no caso dos autotérmicos.

Outros tipos muito em uso são os pistões forjados que, devido a este processo, apresentam características mecânicas de resistência cerca de 20% a 40% maiores do que os pistões obtidos por fusão. Seu uso é reservado aos pistões de maior responsabilidade, em motores diesel e principalmente em aviação.

DIVERSAS FORMAS DE CINTAS DE AÇO USADAS NOS PISTÕES "CONFORMATIC" E "CLEAROMATIC". **Fig. 4.4.9**



PISTÕES "CLEAROMATIC" E "CONFORMATIC". VÊ-SE O ANEL DE AÇO QUE, A FRIO, MANTÉM O PISTÃO SOB TENSÕES DE TRAÇÃO. **Fig. 4.4.8**



PISTÃO COM PORTA-ANEL DE NI-RESIST E LIGAÇÃO AL-FIN, A FIM DE REDUZIR O DESGASTE NA ZONA CRÍTICA DO ANEL DE FOGO

Fig. 4.4.10

Quando a resistência ao desgaste das canaletas, especialmente do primeiro e do segundo anel, é o ponto crítico nos pistões fundidos, como no caso dos motores diesel de alta carga, são usados porta-anéis de Ni-Resist, que é um ferro fundido austenístico, de coeficiente de dilatação próximo do das ligas de alumínio, ancorados mecanicamente ou ligados metalurgicamente pelo processo AL-FIN (Fig. 4.4.10).

No caso de pistões grandes, com mais de 200 mm de diâmetro, pode acontecer que a temperatura da cabeça do pistão seja excessiva, sendo necessário resfriar a mesma. Este resfriamento se obtém fazendo circular óleo através de um tubo de cobre que é colocado no pistão no momento do vazamento da liga.

O mesmo recurso pode ser aplicado em pistões mais modernos e com menores diâmetros, substituindo-se o tubo por canal ou galeria de refrigeração. Neste caso o canal é obtido com o emprego de um macho de sal colocado no molde de fundição e, posteriormente, dissolvido por água. O macho pode, também, ser em grafite, posteriormente queimado, ou mesmo de cobre que é dissolvido por ácido que não ataca o material do pistão (Figs. 4.4.11 e 4.4.12).

PISTÕES COM CANAIS INTERNOS, PARA CIRCULAÇÃO DO ÓLEO DE ARREFECIMENTO

Fig. 4.4.11

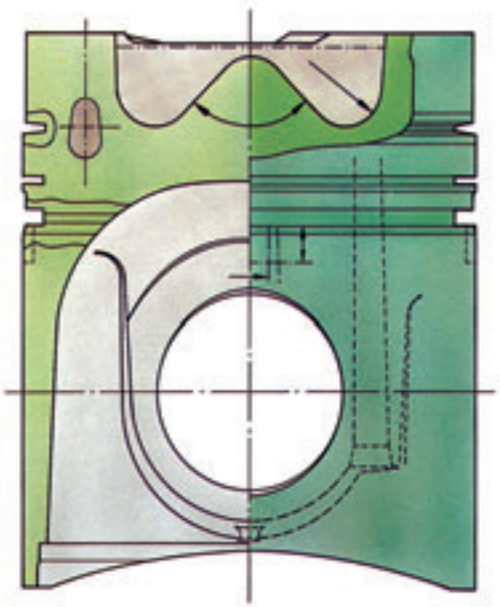


Fig. 4.4.12

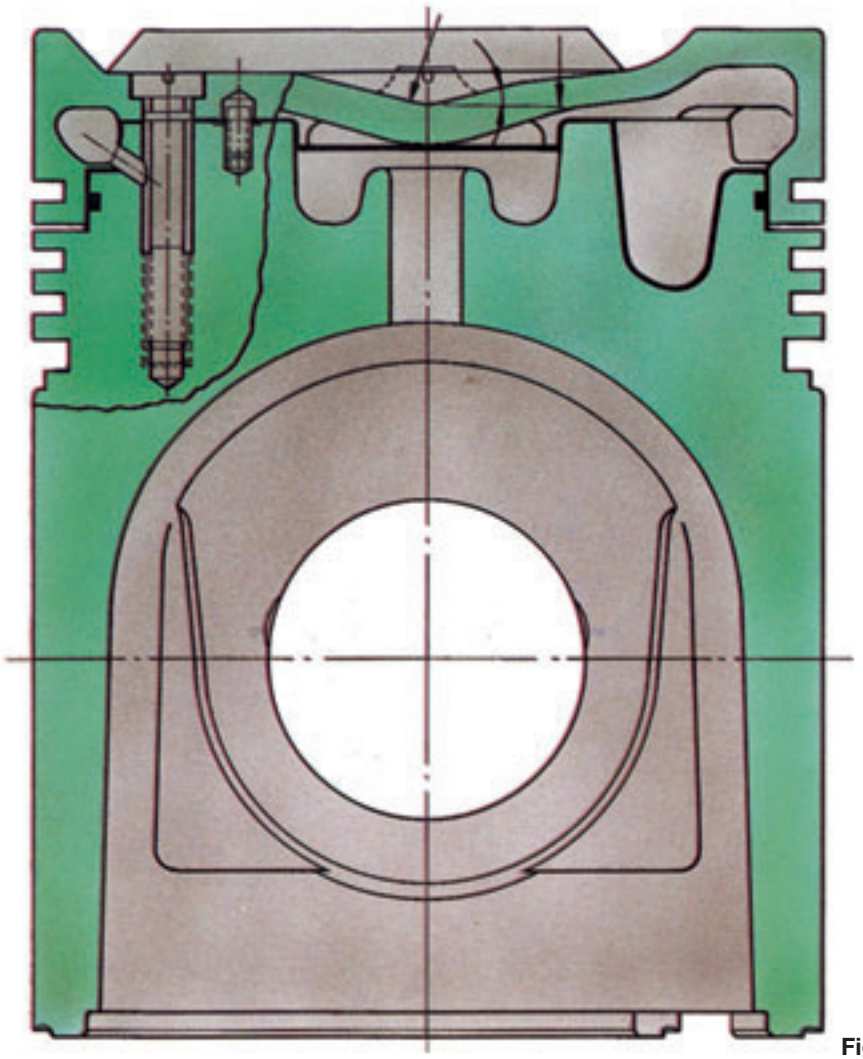


Fig. 4.4.13

Quando as solicitações térmicas atingem níveis não admissíveis em pistões dos tipos que já foram mencionados, podem-se empregar pistões compostos ou montados, cujo corpo é de liga de alumínio fundido ou forjado com uma cabeça de aço forjado ou de ferro fundido nodular. Ambas as partes são conectadas entre si por meio de parafusos ou outros elementos rosqueados e, entre elas, forma-se um tipo de galeria pela qual circula o óleo para refrigeração (Fig. 4.4.13).

As modernas técnicas de fundição começam novamente a viabilizar o uso dos pistões de ferro fundido que, com paredes bem delgadas e arranjos estruturais, equiparam-se em peso aos pistões compostos utilizados em motores de altas cargas. Da mesma forma, os pequenos motores a gasolina ou a álcool que procuram otimizar o aproveitamento energético através da redução das massas de seus componentes e redução do atrito, voltam a viabilizar o uso dos pistões em liga de alumínio de configura-

Fig. 4.4.14

ção simples, sem os componentes de controle da expansão térmica. São pistões bastante leves que agregam em si desenvolvidos fatores de ordem estrutural, formas bem aproximadas, detalhes construtivos no furo para pino e na região das canaletas que, alternativamente, substituíram recursos empregados no passado.

Nos casos de recobrimento de superfície, este pode ser feito por estanhagem, chumbagem, fosfatização ou grafitagem. Todas estas camadas são muito finas, com alguma característica autolubrificante, visando a proteção das superfícies em contato. Estas camadas suprem momentaneamente uma possível ausência do óleo lubrificante na parede do cilindro, no período do amaciamento.

Na cabeça de alguns pistões é feita uma anodização que introduz uma camada de óxido de alumínio, visando, sobretudo, criar uma barreira térmica que restringe em parte o fluxo de calor para o corpo do pistão e propicia uma maior resistência ao aparecimento de trincas de origem térmica.

Pistão articulado (Ferrotherm®)

Novas técnicas de fabricação têm dado origem a alguns novos tipos de pistões, em função das normas sobre emissões de poluentes e aumento de potência dos motores, tais como: pistões articulados, pistões de liga de alumínio com reforço de fibra cerâmica e pistões cerâmicos para motores adiabáticos.

Um pistão articulado é normalmente constituído de uma cabeça de ferro fundido ou de aço fundido ou forjado e de uma saia de alumínio também fundida ou forjada. As duas partes são unidas pelo mesmo pino que transmite a força à biela (Fig. 4.4.14).

O pistão articulado suporta maiores solicitações termomecânicas quando comparado com os pistões de alumínio e aceita as maiores pressões de combustão dos motores mais modernos.

Além disso, possibilita aproximar o primeiro anel do topo, diminuindo a emissão de poluentes e o consumo de combustível (a fragilidade da ligação metalúrgica do porta-anel no pistão de alumínio limita a altura do primeiro anel).

No pistão articulado, a função de guia é realizada pela saia e a carga é suportada pela cabeça. Isso faz com que haja redução de ruído e também facilita a refrigeração.

Consegue-se dessa forma a redução de peso em pistões com grandes diâmetros.

PISTÃO MONOTHERM® SEM TRATAMENTO SUPERFICIAL DE FOSFATIZAÇÃO E SEM GRAFITE NA SAIA

Fig. 4.4.15

Pistão Monotherm®

Em função da demanda por motores com elevada pressão de combustão e temperatura, com o conseqüente aumento de cargas mecânicas térmicas, e devido à legislação de emissões, a MAHLE desenvolveu o pistão Ferrotherm®, cuja cabeça é de ferro ou aço fundido, ou ainda de aço forjado, todos com saia em alumínio (pistões articulados). Posteriormente, estes motores evoluíram, sendo necessário o desenvolvimento de novos componentes. A evolução dos pistões articulados Ferrotherm® originou os pistões forjados em aço Monotherm®. São produzidos em peça única de aço, podendo possuir ou não tratamento superficial de Fosfatização e revestimento de grafite na região da saia. Também possuem dutos na cabeça e furos na região da saia (Figs. 4.4.15 e 4.4.16). O pistão Monotherm® tem como características:

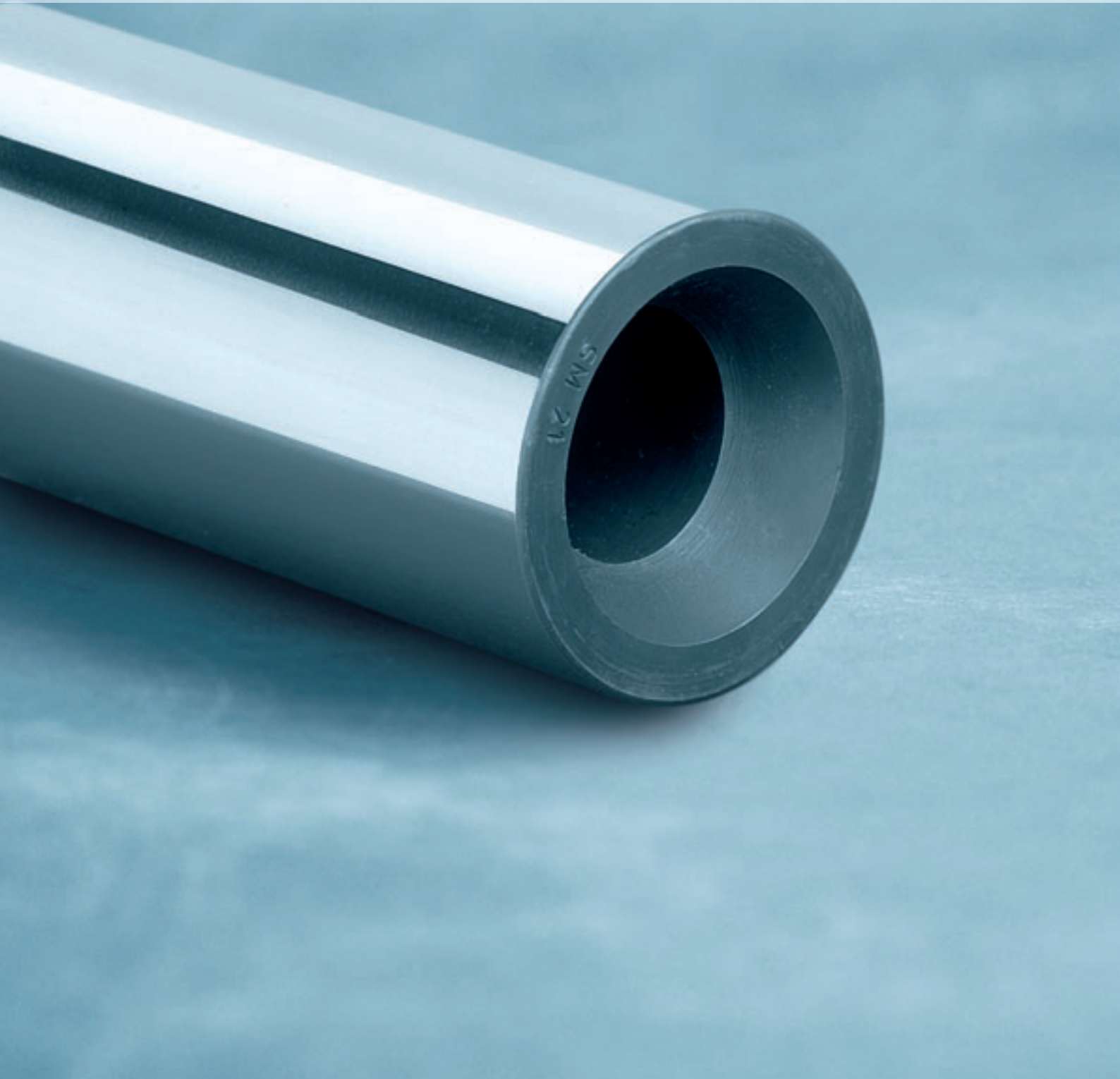
- redução do peso total (pistão e pino) de 10% a 20% em relação ao articulado (Ferrotherm®);
- é mais compacto, dependendo da profundidade da câmara, com altura de compressão menor (por volta de 50% do diâmetro do cilindro);
- é adequado para pressões que variam de 21Mpa a 26Mpa. Desta forma, atende às legislações de emissões Euro IV e Euro V.

PISTÃO MONOTHERM® COM TRATAMENTO SUPERFICIAL DE FOSFATIZAÇÃO E GRAFITE NA SAIA

Fig. 4.4.16

PINO DO

PISTÃO



5 — Pino do pistão

5.1 — Introdução

O pino do pistão é uma peça de aço, tratada termicamente, que atua como elemento de união e de transmissão de força entre o pistão e a biela, estando suas características de projeto intimamente ligadas com as do próprio pistão (Fig. 5.1).

A seguir passamos a descrever as várias etapas da fabricação mais usual dos pinos para pistões.

Fig. 5.1

5.2 — Fabricação

Recebimento de barras (controle)
Os pinos são fabricados em aços de baixa liga e baixo teor de carbono, que são fornecidos em barras trefiladas ou bobinas. Dos lotes recebidos, são retiradas amostras que são enviadas para análise química, mecânica e metalográfica, além de análise dimensional e Magna-Flux.

Processo de fabricação dos pinos

Processo de usinagem
Com este processo pode-se obter pinos de qualquer dimensão a partir de barras de aço, utilizando-se máquinas operatrizes.

As barras de aço são inicialmente cortadas por serras circulares e transformadas em tarugos com diâmetro e comprimento previamente definidos. Após o corte das barras, as rebarbas das faces dos tarugos são retiradas por processo mecânico.

A normalização do diâmetro externo é feita então por um processo de retificação chamado “centerless”.

A seguir é feito o furo passante com brocas “canhão” em furação profunda.

Finalmente os tarugos são faceados, chanfrados e raiados, obtendo-se assim a forma final do pino.

Processo de formação a frio (“Cold Former”)
“Cold Former” é o processo de fabricação mais moderno de pinos, no qual o ferro é feito por forjamento a frio. A matéria-prima utilizada é barra de aço em bobina previamente tratada. É um processo destinado a grandes volumes de produção.

Este processo de fabricação normalmente tem as seguintes etapas:

- as bobinas passam por um sistema de decapagem ácida, para deixar a superfície completamente limpa de óxidos, graxas, óleos, etc;
- a seguir recebem uma camada de fosfato (fosfatização), que atua como autolubrificante e, por ser muito porosa, retém grande quantidade de óleo lubrificante necessário à operação posterior;
- a bobina é trefilada para o diâmetro especificado, passando por uma matriz fixa;
- nas operações seguintes, são executados o corte do pino na medida especificada e o forjamento a frio do furo nas duas extremidades, deixando-o fechado no centro, sendo este miolo central retirado por estampagem. Com essas operações,

o pino está no comprimento especificado e com o furo pronto (acabado);

- a seguir, passa por uma retífica “centerless”, que lhe confere o diâmetro externo pré-acabado, e por uma chanfradeira que dá o acabamento nas faces, efetuando chanfros e raios simultaneamente. O acabamento externo é executado em retíficas após o tratamento térmico.

Tratamento térmico dos pinos

Um pino de pistão, devido ao tipo de trabalho que realiza, deve apresentar uma superfície dura para resistir ao desgaste superficial, e um núcleo flexível (dútil) para que não fique frágil e possa acomodar-se, resistindo às deformações elásticas que lhe são impostas no funcionamento do motor.

São feitos três tratamentos térmicos nos pinos: cementação, têmpera e revenimento para alívio de tensões.

Cementação

A cementação tem a finalidade de elevar o teor de carbono na superfície do pino, para torná-lo mais resistente ao desgaste. Os tipos de cementação mais empregados neste caso são:

Cementação em banho de sal

Para esse tratamento, são usados fornos aquecidos por resistência elétrica que transmitem calor por irradiação ao cadinho de aço com banho de sal. O tempo e a temperatura de tratamento dependem do material e das especificações estipuladas (coerentes para o tipo de aço).

Cementação a gás

Quando as exigências do fabricante do motor são para não cementar o furo, a cementação deve ser feita em forno, com atmosfera carbonetante, e os pinos devem ser protegidos internamente para não haver cementação no furo.

Têmpera

O tratamento térmico de têmpera é exigido para aumentar ainda mais a elevada resistência ao desgaste. Esta elevada resistência é conseguida pela formação de uma estrutura martensítica na camada cementada.

Após atingirem a temperatura de têmpera, os pinos são resfriados bruscamente em óleo, martêmpera ou salmoura. O líquido usado na têmpera deve ser agitado para promover resfriamento mais rápido.

Revenimento para alívio de tensões

O processo de têmpera introduz nos pinos tensões internas. Para eliminar as tensões residuais os pinos passam por um revenimento, que consiste em aquecê-los em fornos de banho de sal, ou com circulação de ar forçado ou banho de óleo a uma temperatura e por um tempo especificados para cada tipo de pino. A seguir, os pinos são protegidos em óleo. Com isto, eles estão prontos para as operações finais.

Retífica dos pinos

Os pinos, após o tratamento térmico, são retificados no diâmetro externo. A seguir são submetidos a um ensaio de magna-flux para a verificação da existência ou não de trincas devidas ao tratamento térmico ou ao processo mecânico de retificação.

A seguir, os pinos são oleados para proteção e encaminhados para a inspeção final.

5.3 — Tipos de pinos

Os pinos em função do tipo de sua montagem nos pistões podem ser classificados do seguinte modo:

Flutuantes
Livres tanto na biela como no pistão. Nesse caso, são usados argolas (travas) ou protetores de cilindro para impedir que o pino entre em contato com o cilindro.

Oscilantes
Fixos na biela, livres no pistão, sendo que a fixação do pino na biela é feita através de montagem com interferência (aperto) ou ainda fixado por parafuso existente no pé de biela.

Presos
Fixos no pistão e livres na bucha de biela.

5.4 — Ajuste pino-pistão

O bom funcionamento do pistão depende muito do correto apoio do pino nos cubos e na bucha da biela, pois no furo para pino as pressões podem alcançar até 50 MPa (500 kgf/cm^2). Para cada tipo de pistão, o melhor ajuste com folga ou com interferência foi determinado após longos ensaios em bancos de prova e testes em estrada. Qualquer tentativa de modificá-la, ou uma montagem incorreta do pino, resulta em mau funcionamento e eventual engripamento do pistão. A facilidade com que o pino pode entrar nos furos do pistão depende do tipo de ajuste (vide Fig. 5.2). Há pinos que só podem ser colocados após prévio aquecimento do pistão, enquanto outros são introduzidos com facilidade à temperatura ambiente.

A diferença entre os coeficientes de dilatação do aço do pino e da liga de alumínio do pistão faz com que a folga pino-pistão seja sempre maior nas condições de trabalho.

Como regra básica, pode-se admitir um aumento de 0,001 mm por milímetro de diâmetro do pino, quando se passa da temperatura do ambiente de montagem para a temperatura de funcionamento do motor. Assim, um pino de 25,00 mm de diâmetro, montado num furo de 25,00 mm, ambos medidos a 20ºC, teriam uma folga de 0,000 mm — isto é, nula a esta temperatura. Mas nas condições de trabalho, a folga seria de aproximadamente 0,025 mm. Se a 20ºC houvesse uma interferência de 0,003 mm, isto é, se o pino tivesse um diâmetro maior do que o do furo de 0,003 mm, a folga de trabalho seria de 0,025 – 0,003 = 0,022 mm.

Nos últimos anos, observa-se uma tendência nítida de empregar acoplamentos pino-pistão com folgas em vez de interferência (aperto).

Isto decorre do melhor acabamento das superfícies do pino e dos furos dos pistões, assim como do mais rigoroso controle da forma geométrica dos mesmos, graças aos modernos métodos de produção. A montagem fica assim facilitada e o perigo de engripamento diminui.

Os pinos podem acompanhar os pistões, já montados ou não nos respectivos cubos. Os pinos que são fornecidos montados nos pistões obedecem a uma rigorosa seleção e classificação, não devendo ser trocados de um pistão para o outro.

No caso dos pinos fornecidos não montados nos pistões, pode-se encontrar, em alguns casos, uma correspondência entre pino e pistão através de indicação por cores.

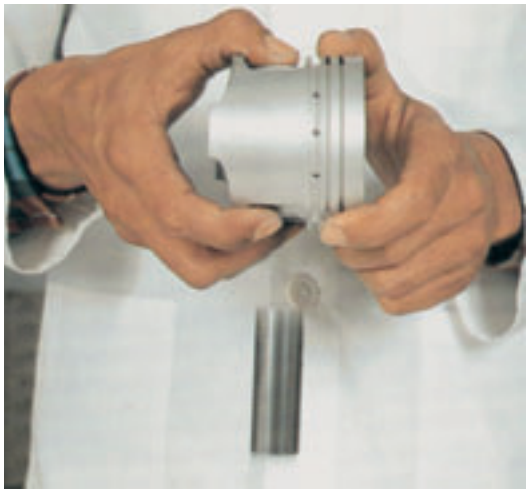
Tipos usuais de ajuste pino — pistão (Fig. 5.2)

Folga maior do que 0,0075 mm

O pino pode ser movido nos furos com boa folga e cairá através deles pelo seu próprio peso quando o pistão for mantido horizontalmente.

Folga de 0,005 mm a 0,0075 mm

O pino deixa-se mover sem dificuldade dentro dos furos e cai suavemente através dos mesmos quando o pistão é mantido horizontalmente (o movimento do pino é ligeiramente amortecido pelo óleo lubrificante).



Folga de 0,0025 mm a 0,005 mm

O pino pode ser movido facilmente dentro do furo com ligeira pressão dos dedos.

Folga de 0 a 0,0025 mm

O pino pode ser movido dentro do furo através de forte pressão do dedo polegar.

Interferência (aperto) de 0 a 0,0025 mm

O pino pode ser introduzido nos furos com forte pressão da palma da mão. Antes, recomenda-se aquecer ligeiramente o pistão, mas não o pino.

Interferência (aperto) acima de 0,0025 mm

Para montagem do pino, o pistão precisa ser aquecido até uma temperatura não maior que 180ºC.

Aquecer o pistão

Fig. 5.2

É aconselhável aquecer o pistão em banho de óleo ou chapa quente, mas nunca sob uma chama direta.

Obs.:

- **Nunca use força excessiva para a remoção ou introdução do pino. Se necessário, aqueça o pistão até que o pino possa ser movido sem força. O uso de força excessiva poderá deformar o furo para pino e o próprio pistão, alterando sua forma.**
- **Não esqueça de lubrificar o pino antes de introduzi-lo no pistão.**

5.5 — Descentralização do furo para pino do pistão

Em muitos motores projetam-se os pistões com os furos para pino deslocados lateralmente em relação ao eixo de simetria do pistão. Esta descentralização pode tanto ser feita no sentido da superfície de maior pressão, como no da menor pressão, conforme o efeito que se queira tirar dessa descentralização. Vamos, primeiramente, estudar como se comporta o pistão com o furo para pino centrado e depois examinaremos o efeito do deslocamento desse furo para um e para o outro lado.

Furo para pino centrado

A Figura 5.3 — detalhe A — mostra o pistão se deslocando no sentido ascendente, durante o tempo de compressão. Para se opor à força que a compressão da mistura desenvolve na cabeça do pistão, a força "B", que a biela transmite ao pino, se decompõe nas duas componentes "M" e "C". A componente "C" pressiona o pistão contra a parede do cilindro, ao passo que a componente "M" comprime a mistura na câmara de combustão. À medida que o pistão sobe no cilindro, aproximando-se do ponto morto superior, diminui o ângulo "α" diminuindo, portanto, em intensidade a componente "C".

A Figura 5.3 — detalhe B — mostra o pistão se deslocando no sentido descendente, durante o tempo motor, impelido pela pressão dos gases de combustão. A força "M" se decompõe em "B" e "C". A componente "B" se transmite à biela, dando impulso motriz ao virabrequim. A componente "C" pressiona o pistão contra a parede do cilindro. Vê-se que "C" aumentou de valor e mudou de sentido.

FURO PARA PINO CENTRADO

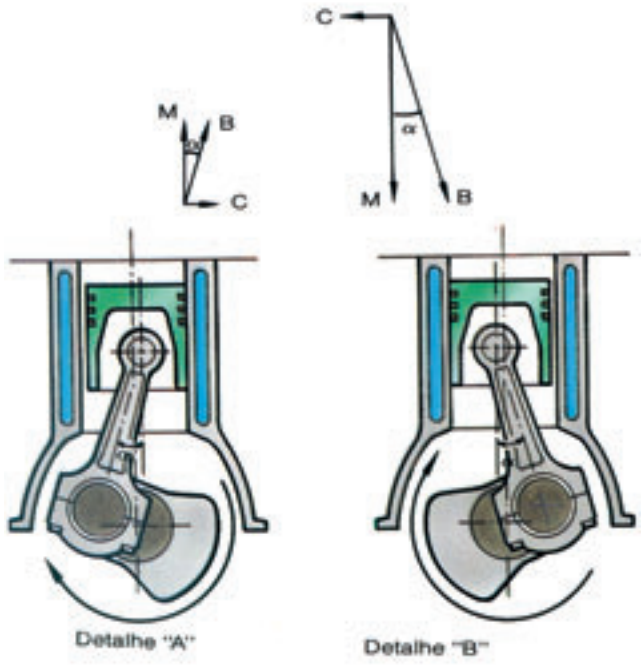


Fig. 5.3

A superfície do cilindro ou do pistão onde esta força ”C” atua no tempo motor, chama-se superfície de contato de maior pressão e corresponde sempre ao lado contrário daquele para o qual o virabrequim gira (sentido horário). A superfície de contato de menor pressão corresponde ao lado oposto.

Furo para pino descentrado

A Figura 5.4 procura esquematizar o efeito que se obtém com esse deslocamento. A força “M”, resultante da pressão dos gases, atua no centro da cabeça do pistão. Com o furo para o pino deslocado, surge um sistema de duas forças paralelas e de sentido contrário (a força M e a força R, que é uma reação da biela no pino contra a ação de M), separadas por uma distância “x” e produzindo um conjugado

$$m = \frac{Mx}{2} + \frac{Rx}{2} ,$$

que tende a girar o pistão em relação ao cilindro, como mostra a Figura 5.4.

Em conseqüência, antes mesmo do pistão atingir o ponto morto superior, e do início da combustão, a saia já se encontra apoiada firmemente à parede do cilindro.

FURO PARA PINO DESCENTRADO

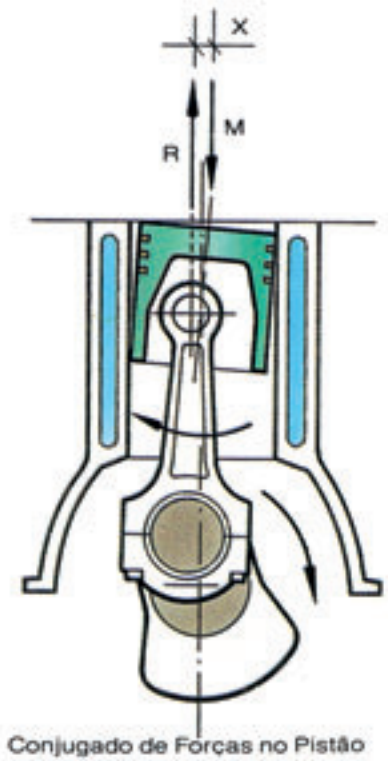


Fig. 5.4

Furo para pino descentrado para o lado de maior pressão

Esta descentralização se faz para diminuir, e até mesmo eliminar, ruídos provenientes das batidas da saia do pistão nas paredes do cilindro, no instante em que se alterna o sentido do movimento.

Nas imediações do ponto superior, a cabeça também se desloca para o lado de maior pressão, sem no entanto produzir ruído, devido ao efeito de amortecimento ocasionado pela presença dos anéis. A mudança de apoio do pistão faz-se assim de maneira progressiva e sem choques.

As batidas da saia podem conduzir à fadiga do material, produzindo trincas e rupturas.

Uma folga cilindro-pistão maior que a normal, quer por uma retificação incorreta do cilindro, quer pelo desgaste com o uso, pode agravar o fenômeno.

Portanto, o deslocamento do furo para pino, para o lado de maior pressão, evita as batidas da saia, provocando um funcionamento mais silencioso do motor. Estes ruídos não eram importantes no passado, quando havia muitas outras fontes de barulho. Também a intensidade dessas batidas e o perigo de rompimento da película de óleo se agravaram com o emprego de pistões de diâmetro maior que o comprimento e maiores rotações por minuto nos motores (Fig. 5.5).

FURO DESCENTRADO PARA O LADO DE MAIOR PRESSÃO

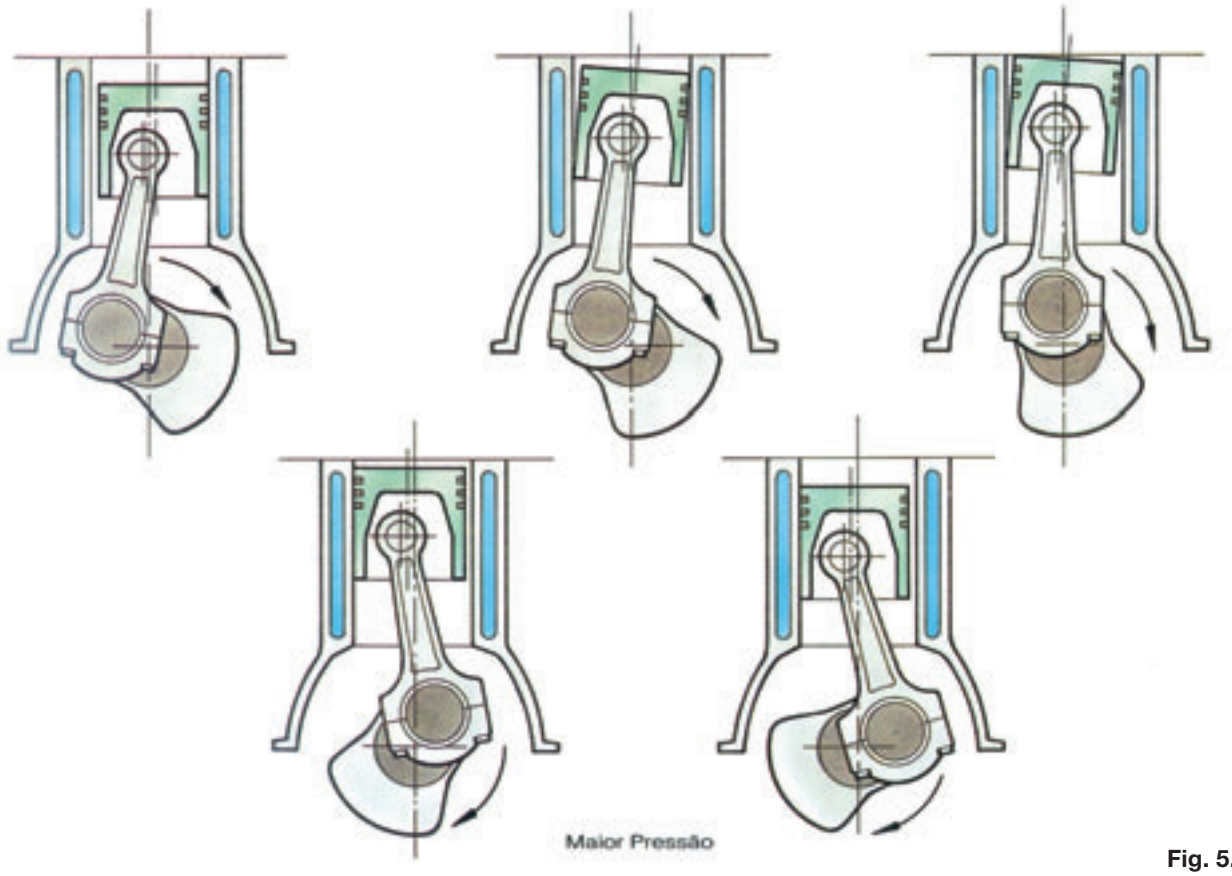


Fig. 5.5

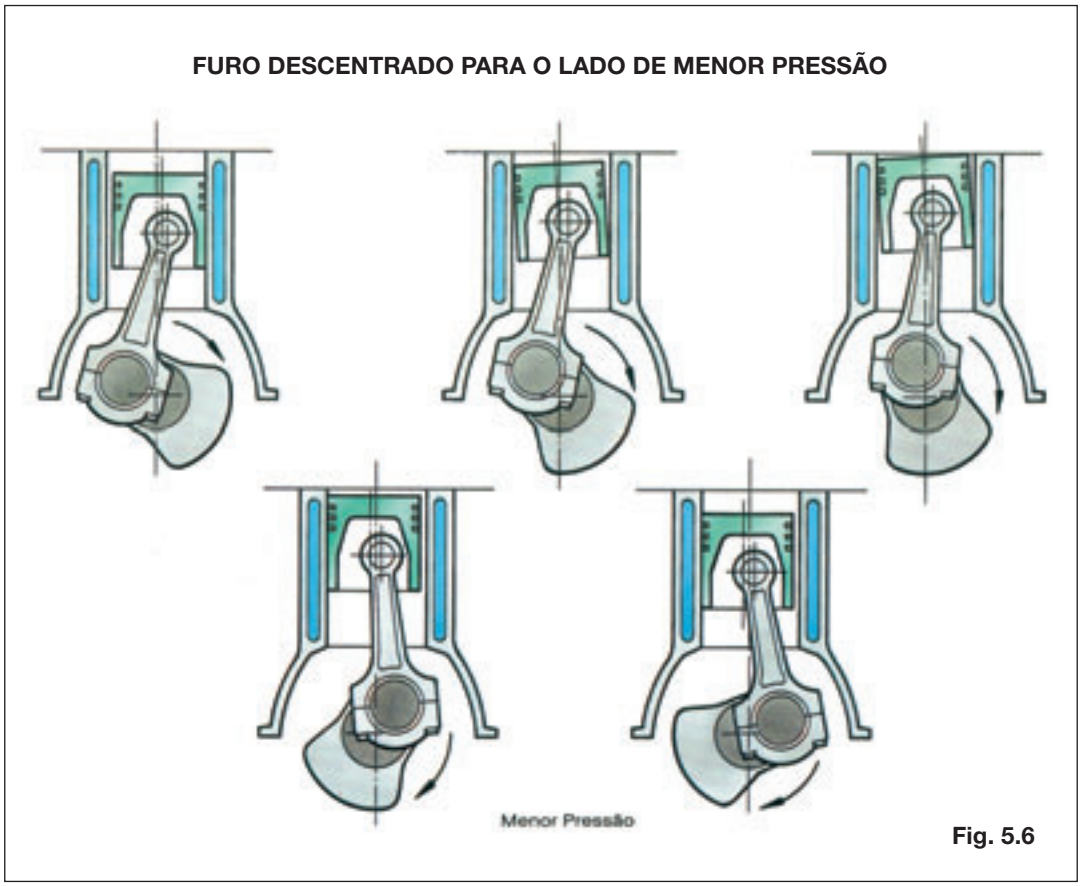


Fig. 5.6

Furo para pino descentrado para o lado de menor pressão

Esta descentralização, muito menos freqüente do que a anterior, é feita para uma melhor centralização da zona de fogo do pistão (parte superior do pistão) em relação ao cilindro. É empregada em alguns motores diesel, cujos pistões possuem saia reforçada e nos quais o ruído das batidas não chega a constituir problema, devido às características de funcionamento do próprio motor. O deslocamento do furo para pino para o lado de menor pressão produz o efeito inverso do caso anterior, fazendo com que a saia se encoste no lado de maior pressão, depois da cabeça.

A Figura 5.6 esquematiza o que ocorre nas imediações do ponto morto superior de compressão.

A centralização da zona de fogo pode ser verificada experimentalmente pela quantidade de depósitos formados. Pode ocorrer que se obtenham sinais de contato metálico numa parte da zona de fogo, indicando pouca folga, enquanto que no outro lado ocorrem depósitos excessivos. A prática ensina que um deslocamento do furo para pino para o lado de menor pressão permite geralmente equilibrar o pistão de maneira a obter-se uma zona de fogo com aspecto uniforme. Isto melhora a vedação, equilibra melhor as temperaturas na cabeça e diminui a formação de depósitos de carvão (Fig. 5.6).

5.6 — Conclusão

Vê-se, portanto, que a posição do furo para pino colocado no centro, deslocado para um lado ou para outro, é o resultado de um longo processo de desenvolvimento, através de inúmeros ensaios.

A marca colocada no pistão (entalhe, seta, letra, etc), indicando a frente do motor, deve ser rigorosamente obedecida na montagem. Constitui essa modificação o fruto do desenvolvimento na técnica do projeto e da construção de motores à combustão interna.

6 — Falhas prematuras em pistões

Características normais de trabalho

O desgaste normal de um pistão ocorre quando os demais componentes do motor também funcionam em condições normais. Os sistemas de filtração de ar, de injeção de combustível, de lubrificação e de arrefecimento e a operação do equipamento, quando em condições normais de funcionamento, contribuem para que os pistões tenham um desgaste normal durante o período de vida útil do motor.

Pistão com características normais de funcionamento

6.1 — Falhas prematuras em pistões por erros de montagem

Expulsão da argola de retenção do pino

Aspecto

- Rompimento da canaleta da argola de retenção do pino. Geralmente, a ocorrência se dá por um componente de força que empurra o pino contra uma das argolas de retenção até a sua expulsão e/ou a sua fratura. Eventualmente, pedaços da argola fraturada passam pelo furo do pino, indo danificar a outra extremidade.

Causas

- Bielas empenadas.
- Cilindros desalinhados em relação ao virabrequim.
- Montagem incorreta da argola.
- Conicidade no colo do virabrequim.
- Folga longitudinal (axial) excessiva no virabrequim.
- Folga excessiva entre o pino e a argola.
- Falta de paralelismo entre o centro da bucha do pé de biela e da bronzina.

Correções

- Alinhar corretamente as bielas (trocar se necessário).
- Retificar os cilindros devidamente alinhados em relação ao virabrequim.
- Montar corretamente a argola, cuidando para não deformá-la durante a montagem.
- Retificar corretamente os colos do virabrequim.
- Verificar a folga axial do virabrequim.

Fig. 6.1.1

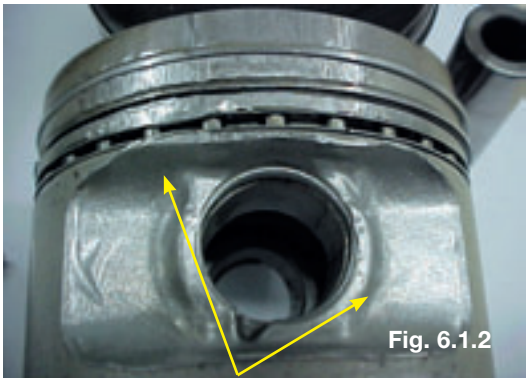


Fig. 6.1.2

Danos provocados pela trava

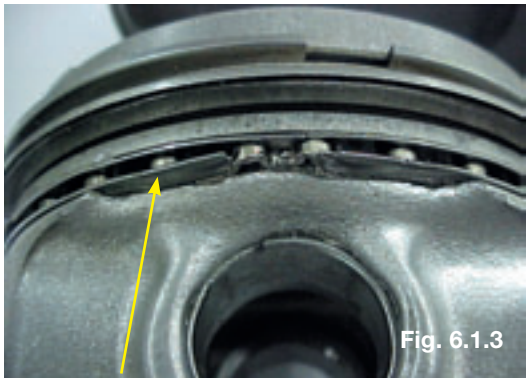


Fig. 6.1.3

Danos provocados pela trava

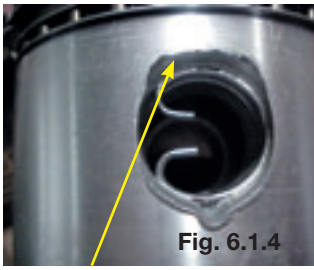


Fig. 6.1.4

Danos provocados pela trava

Folga insuficiente entre o pino e a bucha

Fig. 6.1.5

Aspecto

- Faixas de engripamento ao lado do furo para pino (cubos).

Causas

- Montagem do pino com folga insuficiente no cubo do pistão e/ou na bucha do pé de biela.

Correções

- Montar o pino do pistão com a folga especificada na bucha do pé de biela, observando a existência ou não de classificação pino e pistão.

Zona de contato inclinada

Aspecto

- Área de contato inclinada em relação ao eixo do pistão.

Causas

- Bielas empenadas.
- Cilindros desalinhados em relação ao virabrequim.

Correções

- Alinhar corretamente as bielas (trocar se necessário).
- Retificar os cilindros devidamente alinhados em relação ao virabrequim.
- Mandrilar a bucha do pé de biela no esquadro em relação à biela.

Fig. 6.1.6

Fig. 6.1.7

Marcação inclinada na região da saia do pistão

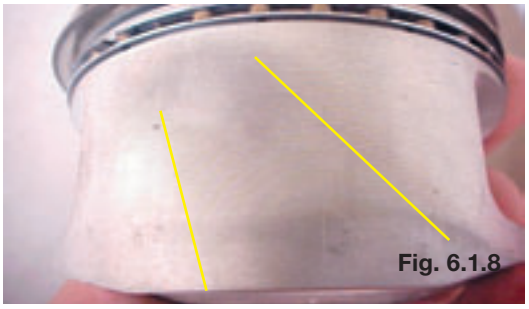


Fig. 6.1.8

Marcação inclinada

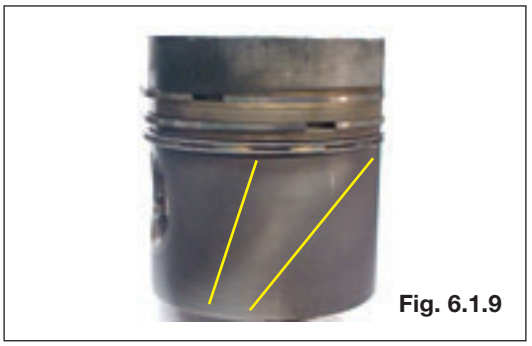


Fig. 6.1.9

Marcação inclinada

Fig. 6.1.10

Marcação inclinada na região da saia do pistão

Engripamento por deformação da camisa de cilindro

Aspecto

- Engripamento em faixas estreitas, geralmente em toda a circunferência da saia do pistão, que tendem a ir se alargando com o funcionamento, com conseqüente engripamento generalizado.

Causas

Deformação da camisa em virtude de:

- irregularidade na montagem do bloco;
- dilatação das gaxetas de vedação durante o funcionamento do motor;
- diâmetro dos alojamentos das gaxetas de vedação acima do valor especificado;
- aperto excessivo do cabeçote;
- deficiência de retificação do cilindro.

Correções

- Usinar corretamente os furos no bloco para a instalação das camisas.
- Utilizar gaxetas de vedação de boa qualidade.
- Verificar o diâmetro dos alojamentos das gaxetas de vedação.
- Dar o torque correto nos parafusos do cabeçote.

Fig. 6.1.11

"Flutter" dos anéis

Aspecto

- Canaletas de anéis destruídas.

O problema ocorre geralmente no primeiro anel de compressão, que é a zona mais solicitada da região dos anéis, devido à sua exposição direta aos gases da combustão.

A combustão retardada sobre os anéis origina calor, superaquecendo esta região do pistão. Além disso, os anéis não exercem perfeitamente sua função de transferir calor para o cilindro.

Dessa forma, o pistão tem a sua resistência diminuída, podendo vir a fraturar, o que se dá normalmente na zona de fogo/anéis.

Causas

- Excesso de folga entre o anel e a canaleta.
- Montagem de anéis novos em canaletas gastas.
- Utilização de anéis com altura incorreta.
- Excesso de depósitos de materiais carboníferos.

O superaquecimento desta região do pistão acrescido pela abrasão provocada pelos materiais carboníferos desgastam excessivamente a canaleta, proporcionando a vibração do anel.

Correções

- Quando da troca dos anéis, verificar minuciosamente as condições das canaletas nos pistões, principalmente as primeiras, que recebem os anéis de compressão.
- Manter a folga entre os anéis e as canaletas dentro das tolerâncias especificadas.

Fig. 6.1.12

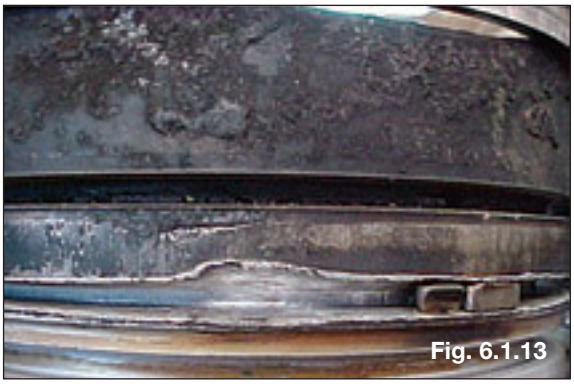


Fig. 6.1.13

Insuficiência de folga de montagem

Aspecto

- Engripamento bastante acentuado e generalizado na saia do pistão, preferencialmente no lado de maior pressão, decorrente de um funcionamento anormal e, por conseqüinte, de uma diminuição de folga a valores que ultrapassam a indicada em projeto.

Causas

- Montagem do pistão no cilindro com folga insuficiente.

Correções

- Observar a folga de montagem entre o pistão e o cilindro recomendada pela montadora/fabricante.

Fig. 6.1.14

6.2 — Falhas prematuras por mau funcionamento do motor

Engripamento por refrigeração deficiente

Aspecto

- Engripamento do pistão, preferencialmente sobre o eixo do pino (cubo).

O conjunto pistão-cilindro é montado com folgas bastante pequenas, sendo que elas tendem a diminuir com o aquecimento do motor, já que o coeficiente de dilatação do pistão é superior ao do cilindro.

Evidentemente, no projeto do pistão, é levado em consideração o sistema de refrigeração do motor.

Qualquer alteração que ocorra na refrigeração do motor faz com que se tenha um superaquecimento do conjunto, com a eliminação das folgas de projeto, o rompimento do filme de óleo lubrificante e o contato metálico entre o pistão e o cilindro. Esse funcionamento anormal leva inevitavelmente a um engripamento dos pistões.

Fig. 6.2.1

Causas

- Excesso de depósitos nos condutos de água no bloco não removido por ocasião do último recondicionamento. Estes depósitos causam sensível aumento da resistência térmica das paredes, elevando a temperatura do pistão.
- Engripamento da válvula termostática, ainda que por curtos períodos. Pode causar a não-passagem da água de refrigeração pelo radiador, elevando, portanto, a temperatura do motor.
- Radiador em má condição, especialmente com bloqueio parcial da colméia, quer interna ou externamente. O isolamento térmico da colméia

em relação ao ambiente dá-se, principalmente, por excessivos depósitos de barro em sua superfície externa.

- Falhas mecânicas na bomba de água podem gerar baixa vazão de água de refrigeração, o que se percebe especialmente quando o motor é muito solicitado.
- Correia de ventilador frouxa (patinando) em demasia, originando queda no fluxo de ar através da colméia.
- Tampão do radiador defeituoso, não oferecendo estanqueidade suficiente, causa queda de pressão no circuito de água e "fervura" mais freqüente.
- Drenar o Sistema de Arrefecimento para a retirada de possíveis bolhas de ar quando do enchimento do sistema com água aditivada.

A retirada das bolhas deve ser realizada através de locais próprios e recomendados pela montadora/fabricante. Por exemplo: na linha Volvo, nos veículos B58, B10M, NL10-340, a drenagem deste sistema deve ocorrer, removendo-se o bujão pequeno do 6º cabeçote, quando for encher o sistema com líquido refrigerante até a retirada total do ar existente internamente no sistema, antes de fazer funcionar o motor.

Correções

- Revisar periodicamente o Sistema de Arrefecimento (bomba d'água, radiador, correia, ventilador e válvula termostática).

Danificação por detonação

Aspecto

- Cabeça do pistão parcialmente destruída.

Durante a combustão, quando a mistura dos gases não queimados sofre compressão devido ao avanço da frente da chama, pode ocorrer que, em determinado instante, toda a parcela final da mistura entre em combustão espontânea.

Esta combustão pode envolver apreciável parcela de massa que, ao invés de queimar progressivamente através do avanço da chama, queimando cada incremento de massa aproximadamente à pressão constante, vai reagir instantaneamente, e a volume constante. A pressão atingida é muito maior do que a pressão final atingida em combustão normal. Devido à grande rapidez com que ocorre o fenômeno, não há tempo para que os gases queimados se expandam, o que justifica a hipótese de que esta combustão anormal se realiza a volume constante.

A elevação de pressão correspondente limita-se, portanto, ao volume ocupado pela massa que reagiu espontaneamente e dá origem a uma onda de pressão que se propaga dentro da câmara com a velocidade do som.

Esta onda sofre repetidas reflexões pelas paredes da câmara, dando origem a um ruído característico, que na linguagem popular é erroneamente chamado de "batida de pinos". O nome correto para o fenômeno descrito é "DETONAÇÃO".

A detonação ocasiona uma erosão na cabeça do pistão, no lado em que os gases sofrem a combustão espontânea (normalmente do lado oposto à vela) e tem origem na ação turbulenta dos gases de temperatura elevadíssima contra a cabeça do pistão.

Além disso, pode ocasionar, em seus últimos estágios, excessivo desgaste da primeira canaleta, quebra, sulcos e aprisionamento dos anéis.

Causas

Fig. 6.2.2

- Não utilização de marchas adequadas a cada condição de carga e velocidade do veículo.
- Cilindro trabalhando excessivamente aquecido.
- Carburador com regulagem incorreta (mistura

excessivamente pobre).
- Centelha excessivamente avançada.
- Combustível de má qualidade (com baixo número de octanas).
- Distribuidor com calibragem/regulagem incorreta.
- Sobrecarga do motor.
- Acúmulo de depósitos no topo do pistão ou no cabeçote.
- Rebaixamento excessivo do cabeçote com conseqüente aumento da taxa de compressão.
- Utilização de velas inadequadas.

Correções
- Proceder periodicamente a uma revisão dos sistemas de alimentação e ignição, mantendo-os em condições de funcionamento recomendadas pela montadora/fabricante.
- Evitar sobrecargas operacionais no motor.

Danificação por pré-ignição

Aspecto
- Zonas dos anéis e da cabeça do pistão parcialmente destruídas.
- Furo no topo do pistão.

Fig. 6.2.3

A formação de uma segunda frente de chama, não devida à faísca da vela, com a queima espontânea do combustível, recebe o nome de pré-ignição.

Temos, pois, uma nova frente de chama, o que não constitui inconveniente, enquanto ocorre depois da frente da chama principal iniciada pela vela.

À medida que a temperatura das peças se eleva, a pré-ignição ocorre cada vez mais cedo no ciclo, adiantando-se à faísca da vela e diminuindo a potência do motor.

Em se tratando de apenas um cilindro, a potência iria diminuir progressivamente até que, finalmente e silenciosamente, o motor viesse a parar. Nos motores policilíndricos, porém, os outros cilindros mantêm o motor em movimento e o cilindro com pré-ignição é submetido às temperaturas de combustão durante tempos cada vez mais longos com um aumento excessivo do fluxo de calor para as paredes da câmara.

As excessivas temperaturas e as pressões resultantes da pré-ignição podem ocasionar um furo no topo do pistão.

Causas
- Velas inadequadas para o tipo de serviço requerido.
- Pontos quentes ocasionados por sistema de arrefecimento defeituoso.
- Depósitos de carbono em temperatura muito alta (quase incandescentes), ocasionando pontos quentes.
- Válvulas operando em temperaturas mais elevadas do que a normal.
- Detonação ou condições que levam a ela.

Correções
- Instalar velas adequadas para o motor.
- Verificar o sistema de arrefecimento.
- Descarbonizar o topo dos pistões e o cabeçote sempre que possível.
- Regular periodicamente as válvulas do motor, conforme prescrito pela montadora/fabricante.

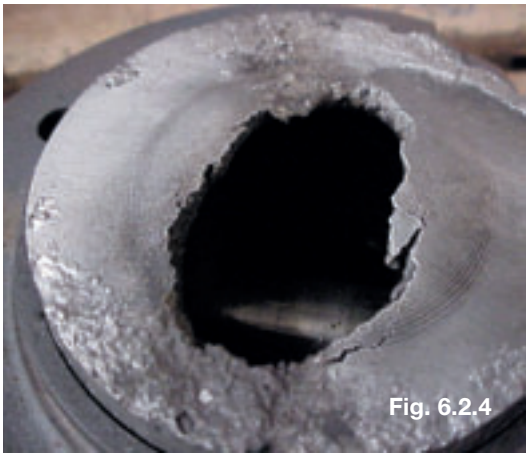


Fig. 6.2.4

Fig. 6.2.5

Trincas na cabeça e nos cubos do pistão

Aspecto

- Trinca na cabeça do pistão.
- Trinca na parte superior dos cubos.

Causas

- As trincas que se originam na cabeça dos pistões são conseqüências de tensões térmicas extremas. No caso em que as trincas evoluem na direção perpendicular ao eixo do pino, verificou-se que, em adição aos efeitos térmicos, existem tensões mecânicas induzindo tensões de tração ou de compressão na superfície do topo.
- As trincas que se originam na parte superior dos cubos e evoluem em direção ao topo, numa tendência de abrir o pistão ao meio, são decorrentes da interação entre o cubo e o pino. Ocorrem tensões elevadas, acima do valor recomendável, causadas pela compressão, pela deformação do pino e pelo efeito de cunha que exerce na superfície do furo.

Fig. 6.2.6

Correções

- O recondicionamento do motor, a regulagem do sistema de injeção, bem como as condições de operação do motor devem ser executadas dentro das especificações estabelecidas pela montadora/fabricante.

Falha por funcionamento em temperatura abaixo da normal

Fig. 6.2.7

Aspecto

- Paredes entre as canaletas de anéis destruídas.
- Carbonização excessiva da zona de fogo e canaletas.

Causas

- Carburador mal regulado (mistura excessivamente rica).
- Motor funcionando abaixo da temperatura normal.
- Válvula termostática bloqueada na posição aberta e/ou inexistente.

Correções

- Regular corretamente o carburador, para que forneça a dosagem certa de ar e combustível.
- Verificar o funcionamento da válvula termostática.
- Recolocar a válvula termostática no caso de sua falta.
- É aconselhável não solicitar o veículo com o motor totalmente frio.

Excesso de combustível injetado

Aspecto

- Faixas de engripamento da cabeça à boca do pistão, geralmente na direção dos jatos de óleo diesel, propagando-se posteriormente para outras regiões.

Causas

- A diluição da película de óleo lubrificante existente nas paredes dos cilindros dá-se a partir do excesso de combustível injetado, seja por débito da bomba injetora com valor acima do especificado e/ou por pulverização incorreta (esguicho) dos bicos injetores.

A partir do rompimento dessa película, ocorre contato metálico entre o pistão e o cilindro, elevação substancial da temperatura devido ao atrito, com conseqüente dilatação excessiva do pistão até o engripamento.

Correções

- Revisar periodicamente a bomba e os bicos injetores, conforme recomendado pela montadora/fabricante.

Fig. 6.2.8

Fig. 6.2.9

Fig. 6.2.10

Pulverização ocorrendo parcialmente fora da câmara de combustão

Fig. 6.2.11

Pulverização ocorrendo parcialmente fora da câmara de combustão

Fig. 6.2.12

Pulverização irregular do bico injetor

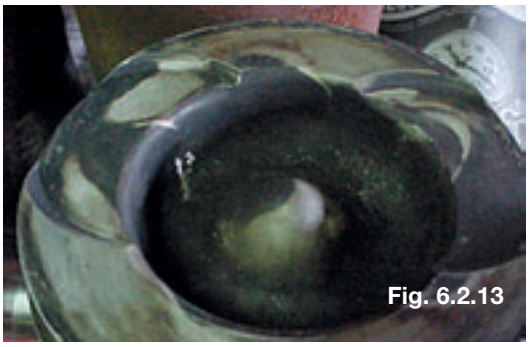


Fig. 6.2.13

Pulverização irregular do bico injetor

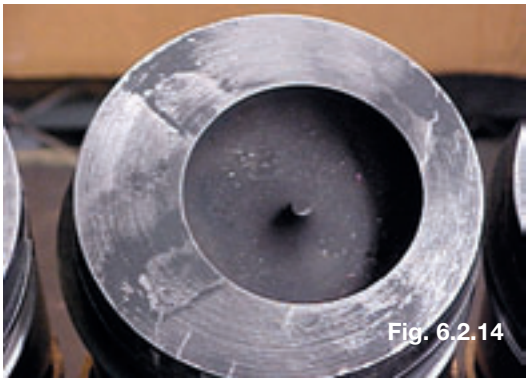
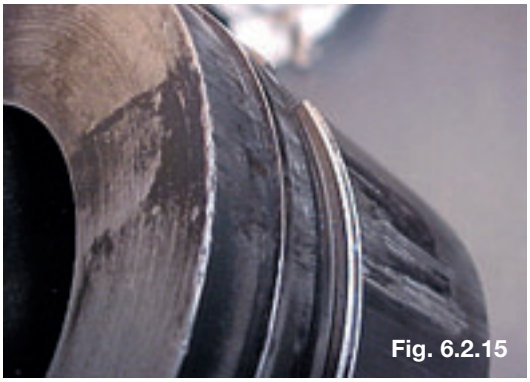
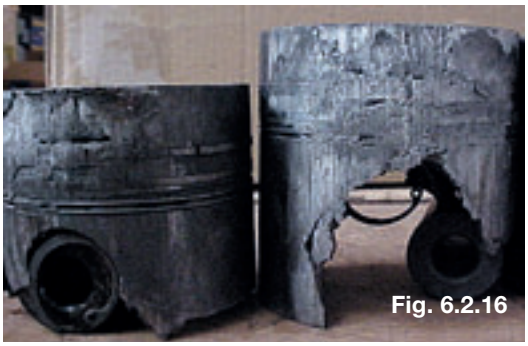


Fig. 6.2.14

Pulverização irregular do bico injetor



Pulverização irregular do bico injetor



Engripamento iniciado na zona de fogo com posterior ruptura na região do cubo

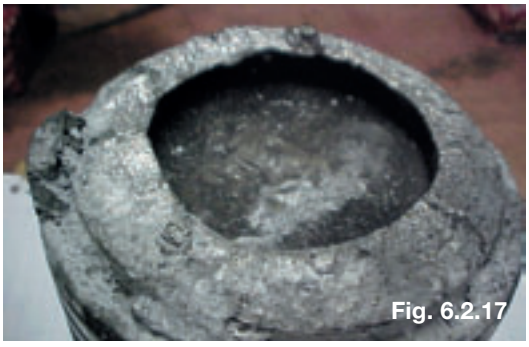
Danificação do topo por erosão

Aspecto

- Erosão da cabeça do pistão devido à sobrecarga mecânica e à desintegração térmica.

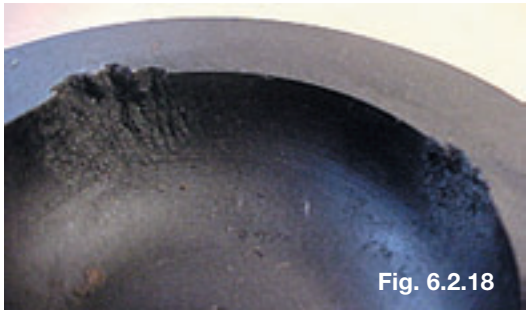
Causas

- Excesso de combustível injetado por ciclo.
- Injeção prematura (ponto adiantado).
- Pulverização incorreta.
- Falta de estanqueidade nos injetores.

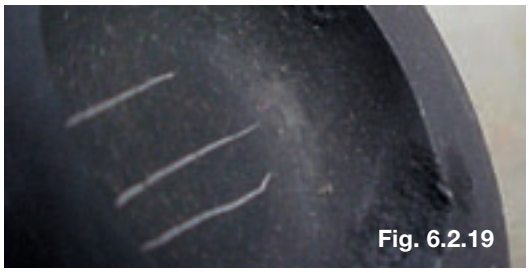


Correções

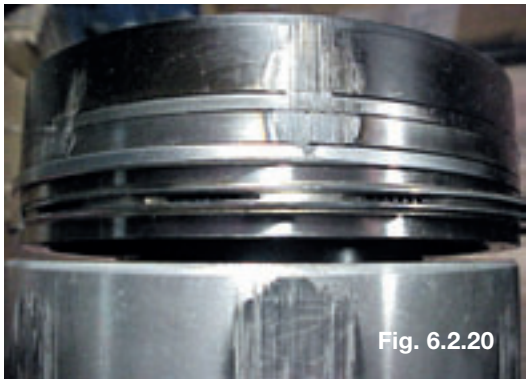
- Regular a bomba e os bicos injetores, para obter correta injeção e pulverização de óleo diesel.
- Corrigir o ponto de injeção de combustível.



Destruição parcial da câmara de combustão

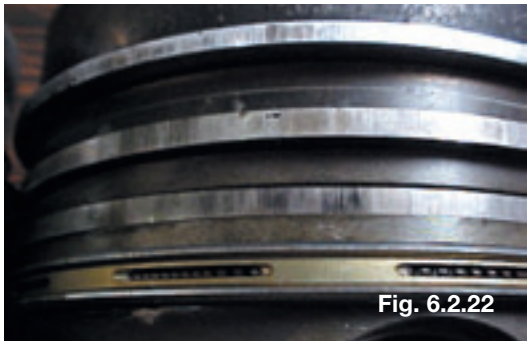


Destruição parcial da câmara de combustão

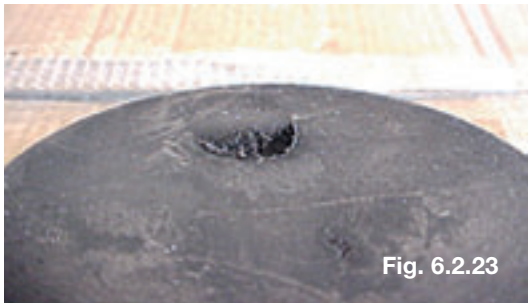


Engripamento iniciado na zona de fogo, estendendo-se para a região da saia do pistão

Engripamento iniciado na zona de fogo



Engripamento iniciado na zona de fogo

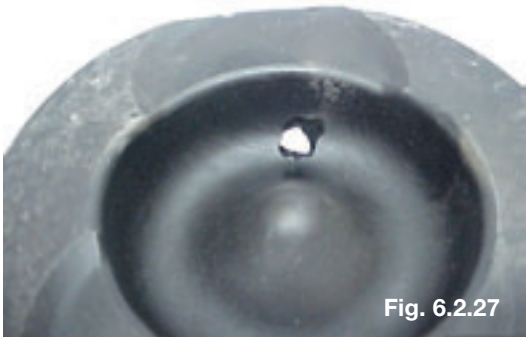


Destruição parcial do topo devido à injeção

Destruição parcial do topo devido à injeção

Engripamento iniciado na zona de fogo

Engripamento iniciado na zona de fogo



Destruição do topo e da região do cubo devido ao bico injetor irregular

Destruição do topo e da região do cubo devido ao bico injetor com funcionamento irregular

Interferência do pistão contra o cabeçote e/ou as válvulas

Aspecto

- A cabeça do pistão apresenta-se deformada devido a batidas contra o cabeçote e/ou as válvulas do motor.

Causas

- Aumento do curso do pistão devido ao afrouxamento de um parafuso da biela.
- O depósito de carvão de óleo que se forma na cabeça do pistão torna-se maior do que a folga, provocando, por isso, impactos no cabeçote do cilindro.
- Altura do bloco abaixo do especificado.
- Variação do curso devido à retificação incorreta dos colos do virabrequim.
- Alteração do comprimento da biela.
- Redução da altura do cabeçote sem o devido ajuste na profundidade das sedes das válvulas.
- Flutuação das válvulas.
- Sincronismo incorreto do eixo comando de válvulas.

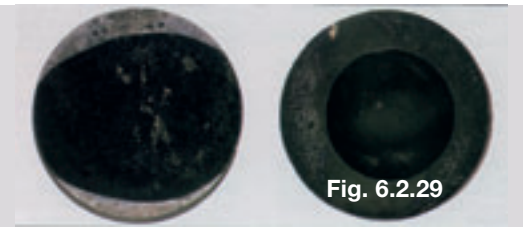


Fig. 6.2.29

Correções

- Verificar o sincronismo do eixo comando de válvulas.
- Verificar a medida da folga.
- Verificar as posições demasiadamente avançadas dos pistões nos cilindros em relação ao topo do bloco.
- Verificar a altura do topo do pistão em relação à face do bloco.
- Na retificação dos colos, manter o curso dentro dos valores especificados pela montadora/fabricante.
- Verificar o comprimento das bielas.
- Corrigir a profundidade das sedes das válvulas.
- Não exceder a rotação máxima especificada pela montadora/fabricante.
- Regular o ponto de injeção.
- Ajustar a bomba de acordo com as instruções da montadora/fabricante.

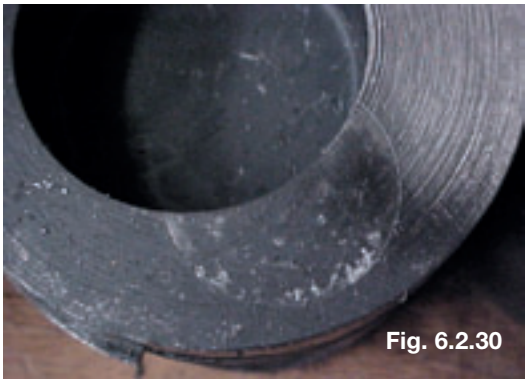


Fig. 6.2.30

Marca de válvula no topo usinado do pistão

Fratura do pistão na região dos cubos

Aspecto

- Trincas profundas na região dos furos para pino ou na parte inferior da saia, podendo chegar à fratura desta.

Causas

Normalmente esse tipo de falha ocorre devido a problemas de funcionamento com engripamento e travamento da cabeça do pistão provocados por:

- folga de montagem pistão/cilindro inadequada;
- supersolicitação do motor ainda em fase de amaciamento;
- deficiência de refrigeração;
- deficiência de lubrificação;
- combustão anormal.

No momento em que o pistão engripado é arrastado pelos demais, a saia é arrancada a partir da secção média do furo para pino.

Fig. 6.2.31

Correções

- Observar as instruções da montadora/fabricante relativas à folga de montagem pistão/cilindro.
- Seguir as instruções da montadora/fabricante relativas ao amaciamento do pistão/cilindro.
- Verificar se os sistemas de refrigeração, de lubrificação e de injeção estão funcionando corretamente.

Trincas na borda da câmara

Aspecto

- Trincas originadas radialmente na borda da câmara de combustão de pistões de motores a diesel de injeção direta.

Causas

- Uma injeção de combustível adiantada e/ou excessiva pode levar solicitações térmicas e mecânicas mais elevadas ao topo do pistão.
- A parte mais aquecida da câmara de combus-

tão circundada pelas regiões menos aquecidas não pode expandir-se como deveria, de acordo com o coeficiente de dilatação térmica e temperatura atingida, uma vez que não é possível comprimir o material. A única possibilidade é a dilatação deste na direção da superfície livre.

- O limite de elasticidade do material do pistão, que é baixo, em altas temperaturas, é excedido, isto é, ocorre uma deformação plástica na forma de acúmulo de material ou uma concentração na periferia da câmara.
- Quando o pistão se esfria até a sua temperatura ambiente, esta deformação persiste, criando tensões de tração que conduzem às trincas na borda da câmara.

Correções

- Regular o ponto de injeção.
- Ajustar a bomba injetora de acordo com as instruções da montadora/fabricante.

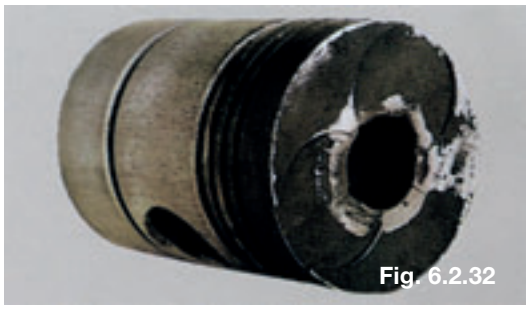


Fig. 6.2.32

Fig. 6.2.33

Trincas na saia do pistão

Aspecto

- Em alguns tipos de pistões, a trinca na saia tem início no furo da fenda existente na canaleta de óleo e em outros, na fenda existente na saia.

Causas

Este tipo de trinca é característico de supersolicitação do motor e, conseqüentemente, do pistão. Geralmente, ocorre do lado de maior pressão, pois a região mais solicitada é a saia, que é submetida a esforços de flexão excessiva.

A trinca ou as trincas evoluem em direção à parte inferior (boca) da saia do pistão, chegando a destacar sua parte central.

As irregularidades, que geralmente ocasionam tal processo de supersolicitação do motor e pistão, são as seguintes:

- aumento da relação de compressão acima dos limites estabelecidos no projeto;
- aumento da rotação do motor acima do valor especificado pela montadora/fabricante;
- combustível não adequado para essa relação de compressão;
- montagem do pistão invertido;
- folga excessiva do pistão/cilindro.

Correções

- Manter a relação de compressão e a rotação especificadas pela montadora/fabricante.
- Utilizar o combustível adequado para a relação de compressão.
- Observar a folga do pistão/cilindro indicada pela montadora/fabricante.
- Observar as indicações de montagem existentes na cabeça do pistão.

Fig. 6.2.34

Deformação da parte superior da camisa

Aspecto

- Arrancamento de material da zona de fogo do pistão.

Causas

A deformação da parte superior da camisa tem como conseqüência a danificação da zona de fogo do pistão. As causas desse tipo de desgaste do pistão podem ser:

- deformação da camisa por aperto irregular;
- junta do cabeçote imprópria.

Fig. 6.2.35

Correções

- Efetuar a montagem da camisa e o aperto do cabeçote, seguindo as especificações da montadora/fabricante.
- Utilizar junta do cabeçote de boa qualidade, seguindo as instruções da montadora/fabricante.
- Verificar as dimensões do alojamento do colarinho da camisa.

Usinagem do topo do pistão

Aspecto

- Trincas originadas ao longo da borda da câmara de combustão.
- Topo do pistão apresenta marcas grosseiras de ferramenta e ausência das marcas de identificação da peça.

Causas

- A usinagem/o rebaixamento do topo do pistão diminui a distância entre a primeira canaleta e o topo do pistão (diminuição da altura da zona de fogo). Esta aproximação, associada à retirada do raio de concordância existente entre a borda da câmara de combustão, faz com que aumentem as tensões no topo do pistão, implicando no aumento da concentração das tensões na região da borda da câmara de combustão e, conse-qüentemente, estando mais suscetível a trincas nesta região (Fig. 6.2.36).

Fig. 6.2.36

Topo usinado

Correções

- Utilizar pistões com altura de compressão menor, quando existir.
- Substituir o bloco.

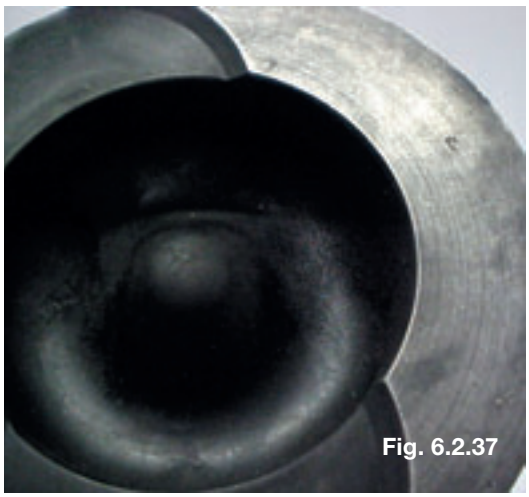


Fig. 6.2.37

Marcas de usinagem do topo do pistão

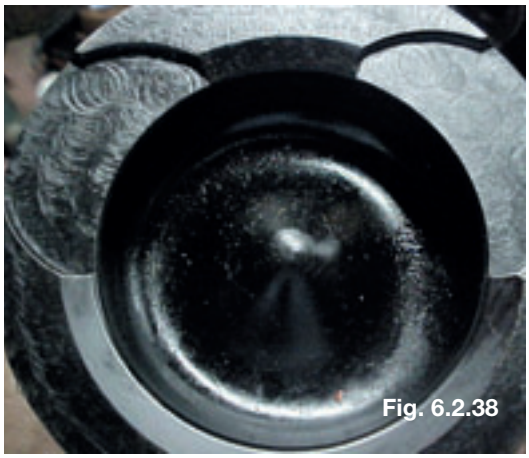
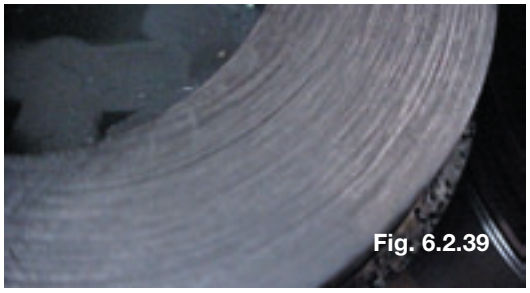


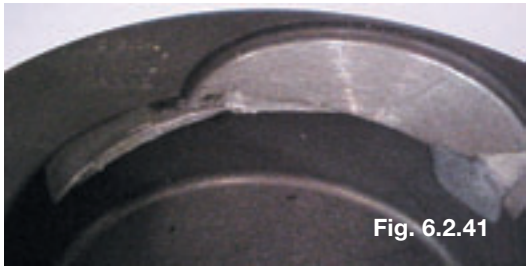
Fig. 6.2.38

Marcas de usinagem do topo do pistão e rebaixo de válvulas

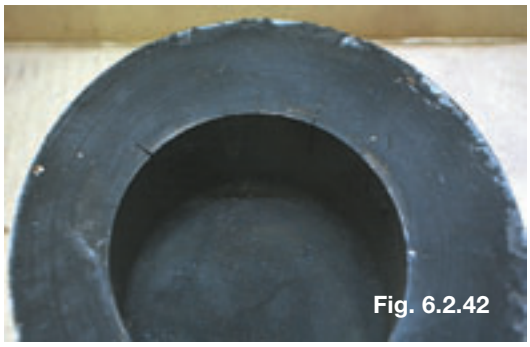


Topo usinado

Usinagem do rebaixo de válvulas



Usinagem do rebaixo de válvulas



Trincas existentes na borda da câmara de combustão

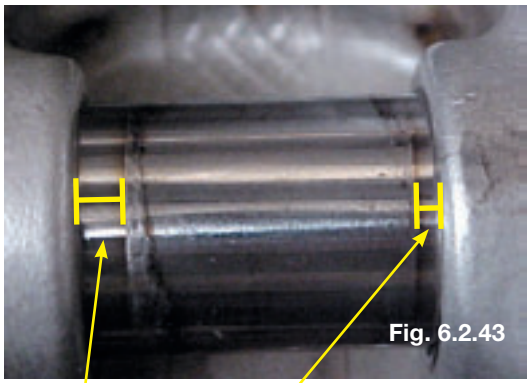
Embielamento incorreto

Aspecto

- A peça apresenta marcação irregular no pino provocada por excesso de temperatura. O pistão também pode apresentar: trinca/fratura na região do cubo, consumo de óleo lubrificante, alinhamento das entrepontas dos anéis e ruído.

Causas

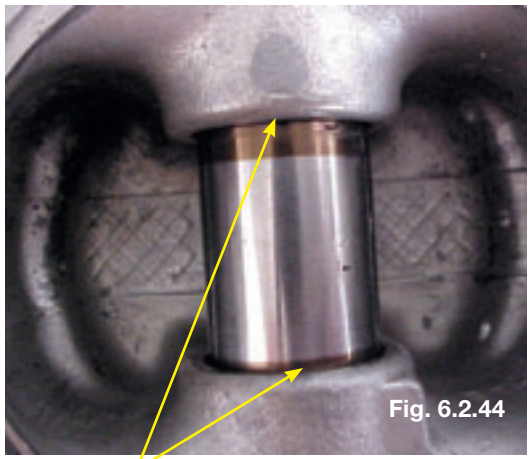
- Posição incorreta da biela no pino.
- Aquecimento irregular da biela durante o processo de embielamento.



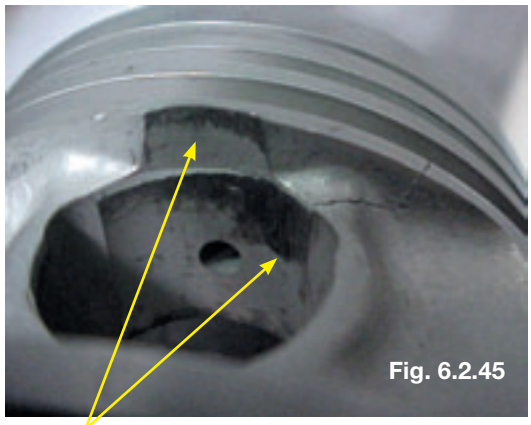
Descentralização da biela no pino

Correções

- Efetuar o embielamento do pistão, seguindo as recomendações da montadora/fabricante.
- Utilizar ferramentas adequadas para o embielamento do pistão, tal como forno elétrico.
- Ficar atento a possível desalinhamento do pino com o cubo durante a instalação deste no pistão.



Descentralização da biela no pino



Marcação irregular do pino no cubo durante o embielamento

Fig. 6.2.46

Peça trincada durante o embielamento

Fig. 6.2.47

Marca irregular próxima ao cubo

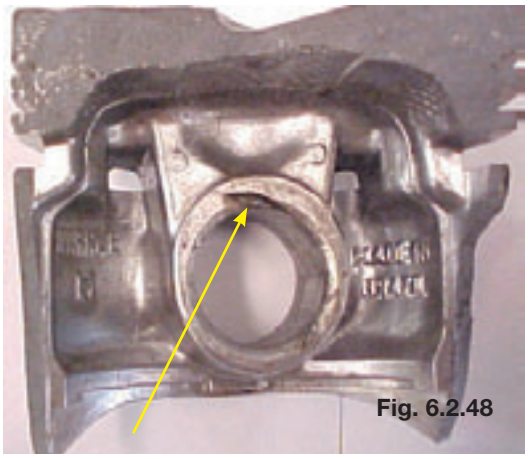


Fig. 6.2.48

Marca do pino no cubo

Ruptura/quebra da parede entre canaleta

Aspecto

- O pistão, tanto na linha Diesel como no Ciclo Otto, apresenta ruptura/quebra da primeira e/ou segunda parede entre canaleta.

Causas

- A ruptura das paredes entre canaleta é conseqüência da elevação repentina do pico de pressão de combustão. Isto ocorre devido ao aumento do volume/massa de combustível admitido, à diminuição do volume na câmara de combustão do cabeçote e ao ponto incorreto de injeção/ignição. Nesta condição, o pistão fica submetido à elevação de cargas mecânicas (maior pressão de pico) e térmicas, causando a ruptura das paredes entre canaleta. A ruptura/quebra está relacionada ao processo que leva ao fenômeno da "DETONAÇÃO".

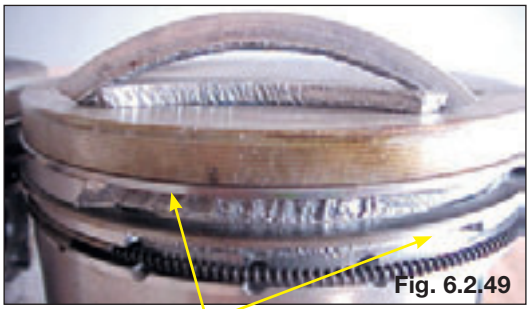
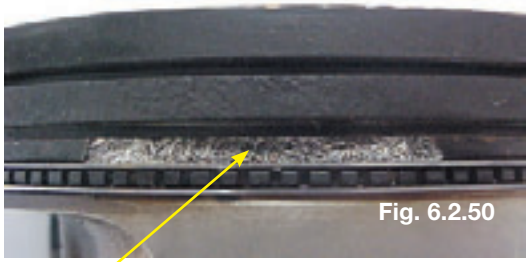


Fig. 6.2.49

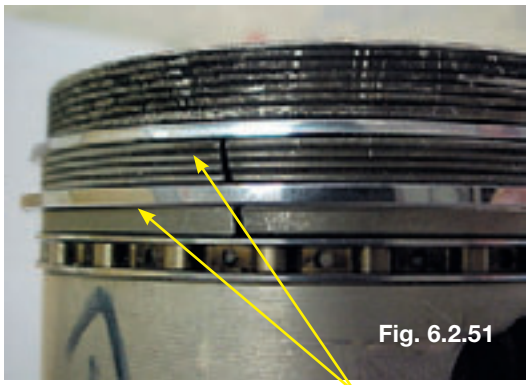
Parede entre canaleta quebrada em pistão aplicado em motores Ciclo Otto

Correções

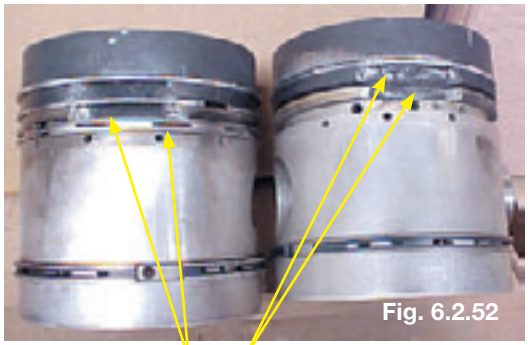
- Manter a altura do cabeçote dentro das recomendações da montadora/fabricante.
- Manter a altura do bloco dentro das recomendações da montadora/fabricante.
- Manter a projeção do pistão em relação ao bloco, segundo as recomendações da montadora/fabricante.
- Não utilizar combustíveis de má qualidade.
- Revisar equipamentos periféricos ao motor (bomba e bicos injetores, partida a frio, motor de arranque e bateria).
- Utilizar corretamente a vela aquecedora (quando existir).
- Aplicar corretamente as peças e os componentes.
- Ponto de injeção correto.
- Verificar os itens que levam à "DETONAÇÃO".



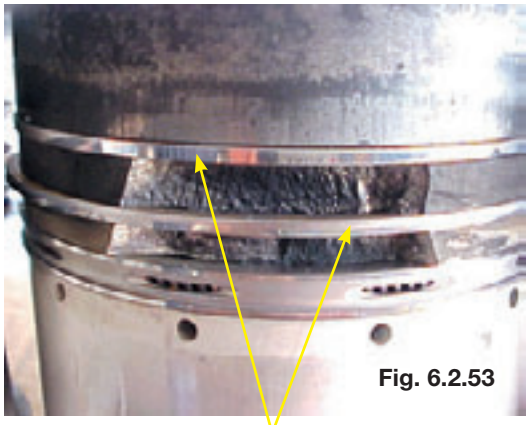
Parede entre canaleta quebrada em pistão aplicado em motores Ciclo Otto



Parede entre canaleta fraturada em pistão aplicado em motor Ciclo Otto



Paredes entre canaletas fraturadas em pistões aplicados em motores Ciclo Diesel



Paredes entre canaletas fraturadas em pistão aplicado em motores Ciclo Diesel

ANÉIS DE PISTÃO

7 — Anéis de pistão

7.1 — Objetivos e princípios de funcionamento

Antigamente os anéis de pistão eram “circulares” e a força que eles faziam contra a parede do cilindro era dada por deformação térmica.

Com a evolução dos motores, cada vez mais potentes e sofisticados, houve um aumento na rotação dos anéis, o que provocou alguns problemas no funcionamento, tais como flutuação e perda de carga. Isso fez com que o pacote de anéis sofresse algumas modificações, evoluindo simultaneamente com os motores.

A partir da primeira crise de energia, em 1973, o conseqüente acréscimo nos custos do combustível e lubrificante gerou novas necessidades de uma maior durabilidade e potência, o que colocou o projeto dos anéis de pistão diante de exigências extras, como:

- melhor vedação;
- redução do consumo de óleo;
- maior resistência ao desgaste;
- redução do tempo de assentamento (amaciamento do motor);
- redução de atrito.

Mais recentemente, com as legislações sobre emissões de poluentes nos vários continentes, surgiram novos desafios com relação à performance e durabilidade dos anéis. Estes desafios estão sendo superados com o aprimoramento tecnológico dos processos de fabricação e o desenvolvimento de novas alternativas de material base, coberturas e perfis dos anéis.

7.2 — Nomenclatura dos anéis de pistão

Nas Figuras 7.2.1, 7.2.2 e 7.2.3, apresentamos as nomenclaturas usuais para os anéis de pistão de acordo com as normas técnicas internacionais.

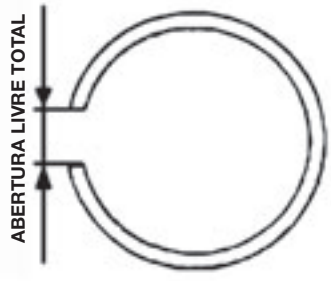


Fig. 7.2.1

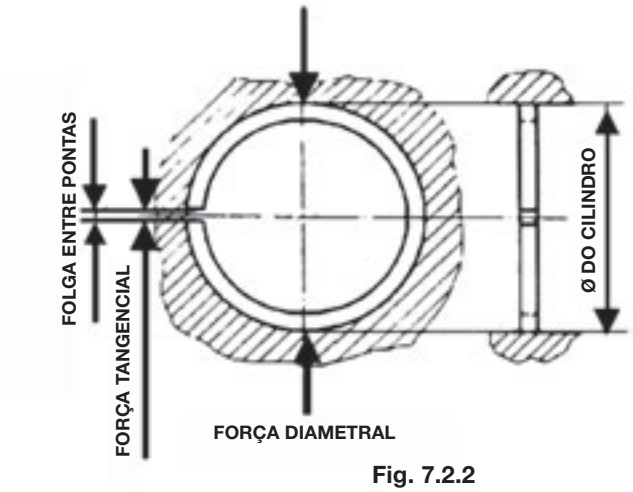


Fig. 7.2.2

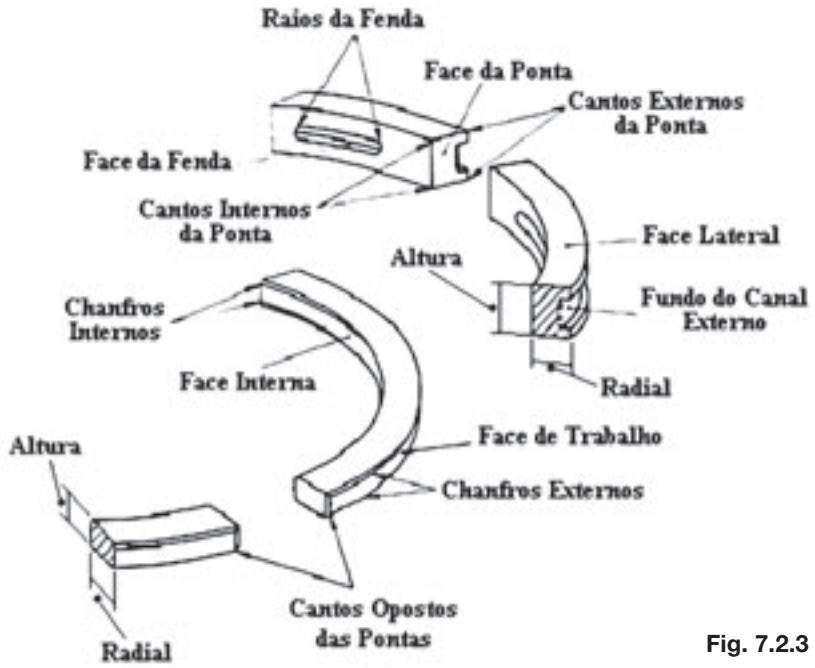


Fig. 7.2.3

Anel é um elemento circular elástico com elevada força de expansão. Tem por finalidade promover a vedação dos gases da câmara de combustão, fazer o controle do filme de óleo lubrificante na parede do cilindro e servir como elemento de transmissão de calor do pistão para o cilindro.

7.3 — Tecnologia dos anéis de pistão

TECNOLOGIAS DE FABRICAÇÃO

De forma geral, o anel é um elemento auto-expansivo e tem suas dimensões finais obtidas através dos processos de usinagem, tais como: mandrilhamento, torneamento, retificação, lapidação, topejamento, etc. Os anéis de aço são conformados.

Constitui um dos componentes do motor à combustão interna, sendo desenvolvido e aperfeiçoado para se obter melhor rendimento do conjunto motriz.

Os anéis são montados dentro dos canaletes dos pistões com a marca existente na face lateral (Figs. 7.3.1 a 7.3.5), para o lado de cima. A face externa do anel, conhecida como face de trabalho, é a parte que fica em contato com o cilindro do motor.

Fig. 7.3.1

Fig. 7.3.2

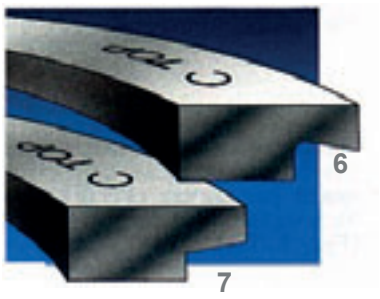


Fig. 7.3.3

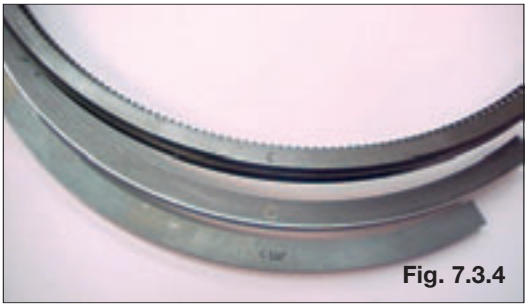


Fig. 7.3.4

Fig. 7.3.5

Os anéis fabricados em ferro fundido possuem propriedades mecânicas melhoradas devido aos elementos de liga acrescentados em sua composição, que lhes conferem elevada resistência ao desgaste e à fadiga, assim como excelentes condições de trabalho, mesmo em situações severas como a de temperaturas elevadas e pouca lubrificação.

Os anéis fabricados em aço têm como principal característica seu alto módulo de elasticidade. Isso permite projetar anéis com alturas reduzidas, sem risco de quebra quando forem montados no canalete do pistão ou em funcionamento dentro do motor.

De uma forma mais simplificada, podemos classificar os materiais utilizados em 3 grandes grupos:

Ferro Fundido Cinzento

Obtido através do processo de fundição estática (Figs. 7.3.6 e 7.3.7), possui elevada resistência ao desgaste, boa usinabilidade e baixo custo. Na Figura 7.3.8 apresentamos a estrutura metalográfica do ferro fundido cinzento.

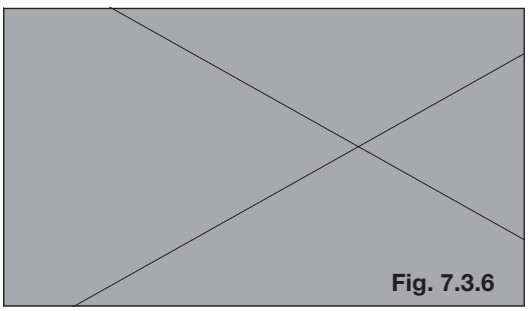


Fig. 7.3.6

Fig. 7.3.7

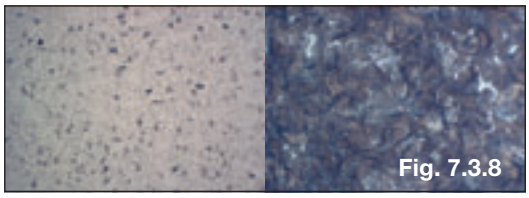


Fig. 7.3.8

Ferro Fundido Nodular

Obtido através do processo de fundição centrífuga (Figs. 7.3.9, 7.3.10 e 7.3.11), possui maior módulo de elasticidade e dureza se comparado ao ferro fundido cinzento. Geralmente, os anéis feitos com este material requerem algum tipo de cobertura em sua face de trabalho, sendo o cromo e o molibdênio os mais usuais. Na Figura 7.3.12 apresentamos a estrutura metalográfica do ferro fundido nodular.

Fig. 7.3.9

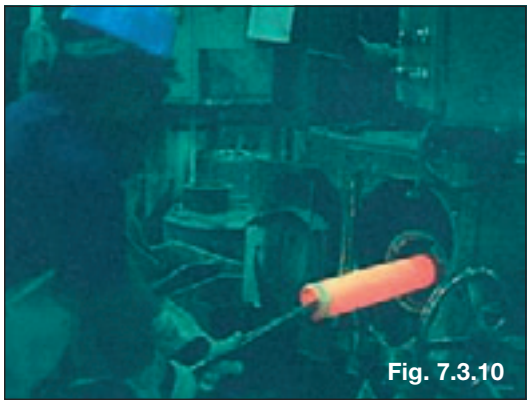


Fig. 7.3.10

Fig. 7.3.11

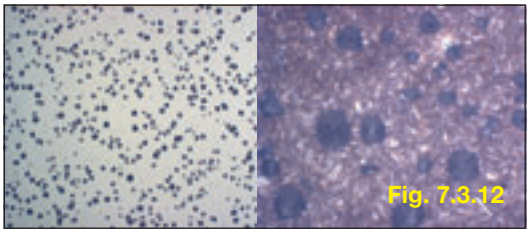


Fig. 7.3.12

Aço

Obtido através de processo de laminação, possui módulo de elasticidade maior que os ferros fundidos, sendo muito utilizado em anéis com altura reduzida. Os aços inoxidáveis recebem tratamento de nitretação e os aços carbonos recebem coberturas de cromo ou molibdênio na face de trabalho. Na Figura 7.3.13 apresentamos, respectivamente, as estruturas metalográficas do aço inoxidável e do aço carbono.

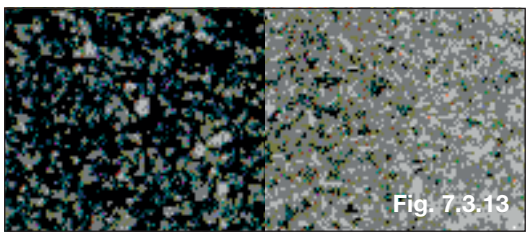


Fig. 7.3.13

Coberturas

Os anéis, em condições de trabalho, estão sujeitos às situações mais adversas possíveis, que podem levá-los a sofrer um desgaste prematuro.

Dentre os principais causadores destes desgastes podemos citar: motor trabalhando com filtro de ar saturado ou sem filtro, sistema de injeção desregulado ocasionando a lavagem do cilindro, lubrificação insuficiente, sistema de arrefecimento com problema, motores com cilindros retificados de forma incorreta, etc. Todos estes fatores mencionados expõem as faces dos anéis a um severo processo de desgaste por abrasão e scuffing (escoriações).

Com o objetivo de minimizar os desgastes e aumentar a vida útil dos anéis, utilizam-se na face de trabalho coberturas/revestimentos com materiais mais duros e resistentes que o material dos anéis. Dentre os materiais mais usados para revestimentos dos anéis podemos citar o cromo, o molibdênio e o ferrox.

Cromo

É um material que tem como características: dureza, alta resistência ao desgaste e a escoriações por abrasão, alto ponto de fusão (aproximadamente 1.800ºC) e baixo coeficiente de atrito. É depositado na face de trabalho do anel através de processo eletroquímico (Fig. 7.3.14).

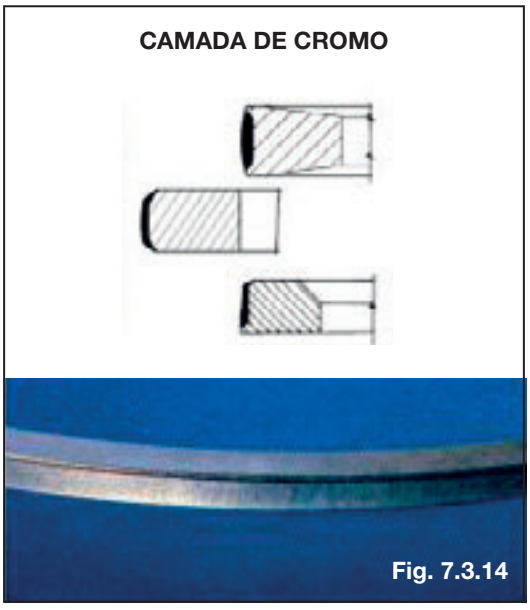


Fig. 7.3.14

Molibdênio

É um material poroso, resistente a escoriações e a altas temperaturas (ponto de fusão de aproximadamente 2.620ºC). Os microporos servem como pequenos reservatórios de óleo, auxiliando na lubrificação e no amaciamento do motor. É aplicado na face de trabalho do anel por processo de metalização por chama ou plasma (Fig. 7.3.15).

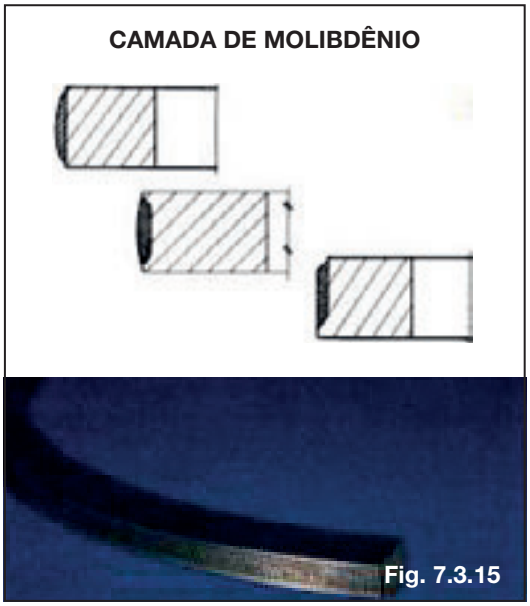


Fig. 7.3.15

Enchimento de Ferrox
(mistura de óxido de ferro e silicato de sódio)

Material poroso que retém o óleo lubrificante, melhorando assim a lubrificação e reduzindo o desgaste do cilindro e do anel (Fig. 7.3.16).

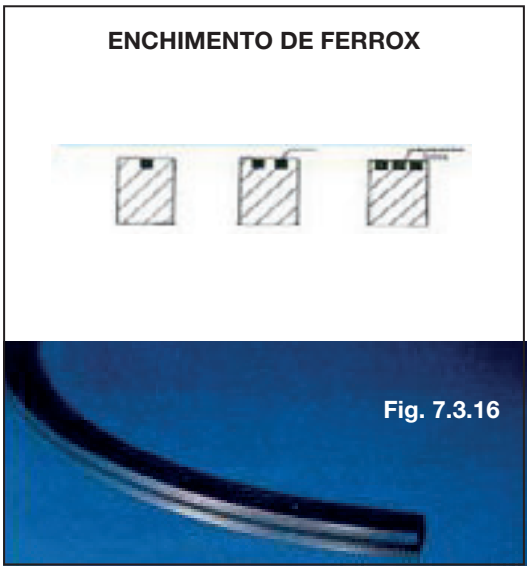


Fig. 7.3.16

Além das coberturas já mencionadas, citamos a seguir um breve resumo das tecnologias mais recentes.

Cromo Channel

É uma cobertura de cromo com microfissuras (Figs. 7.3.17 e 7.3.18) abertas através do processo de reversão durante a aplicação do cromo. Estas microfissuras melhoram a lubrificação no contato cilindro/anel durante o amaciamento do motor. Após a fase de amaciamento, as microfissuras desaparecem, passando a ser um cromo normal.

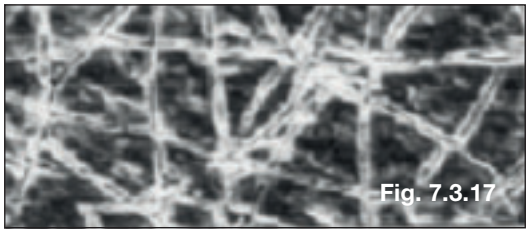


Fig. 7.3.17

Microfissuras

Fig. 7.3.18

Cromo Multilayer

Possui microestrutura de múltiplas camadas feitas por reversões sucessivas durante toda a cromação (Fig. 7.3.19). A reversão é feita para se obter acabamento similar ao channel, porém há fissuras para retenção de óleo ao longo de toda a camada. Enquanto as primeiras camadas possuem maior número de fissuras que contribuem significativamente durante o amaciamento, as camadas inferiores contribuem continuamente por toda vida do motor. Apresenta elevada resistência ao engripamento e ao desgaste se comparado ao cromo channel e ao cromo normal.

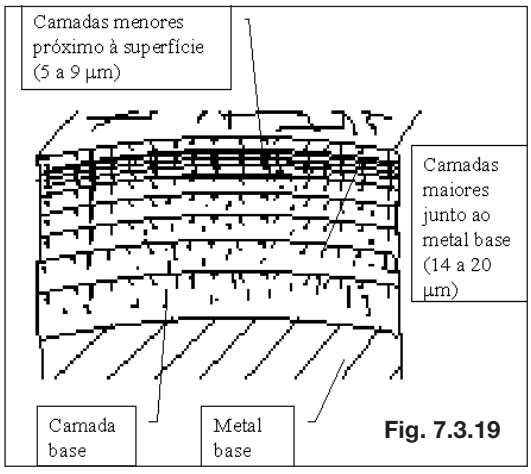


Fig. 7.3.19

Cromo Cerâmico

Também conhecido como CKS, é semelhante ao cromo multilayer, porém possui partículas de alumina, depositadas nas fissuras da sua microestrutura, que aumentam a sua resistência ao desgaste e ao scuffing. A sua elevada dureza confere maior durabilidade a este produto. É a melhor opção, entre os recobrimentos de cromo, para motores de alta solicitação. Apresentamos na Figura 7.3.20 uma ampliação da face de trabalho de um anel revestido com cromo cerâmico.

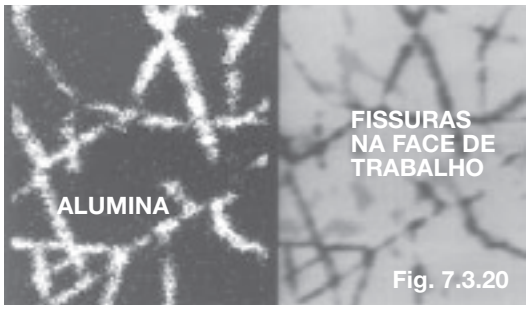


Fig. 7.3.20

PVD (Physical Vapor Deposition)

É um processo cujos átomos ou moléculas de nitreto de cromo (CrN) são vaporizados de uma fonte sólida ou líquida, transportados na forma de um vapor através do vácuo e condensados sobre a face de trabalho do anel. Apresenta maior resistência ao scuffing e ao desgaste se comparado com a cobertura de cromo duro. Na Figura 7.3.21 temos uma imagem da estrutura metalográfica de um anel com cobertura de PVD e suas fases.

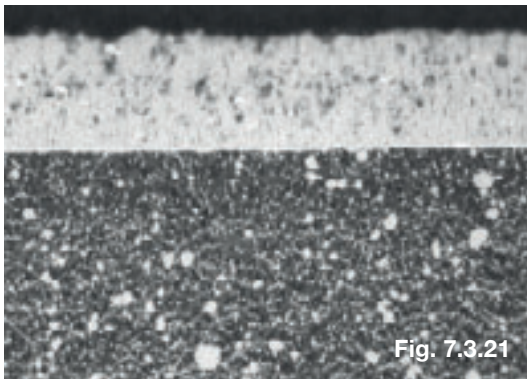


Fig. 7.3.21

HVOF (High Velocity Oxygen Fuel)

É o nome dado ao processo de metalização em alta velocidade. No caso dos anéis, o processo HVOF deposita sobre sua face de trabalho uma liga metálica de Cr3C2 + NiCr que lhes confere características como: alta resistência ao scuffing e ao desgaste (mesmo nível que as camadas de molibdênio), alta adesão ao material base, menor risco de desplacamento, baixo desgaste do cilindro e elevada resistência à corrosão. A Figura 7.3.22 é uma representação esquemática de uma pistola de HVOF metalizando um tubo de anéis.

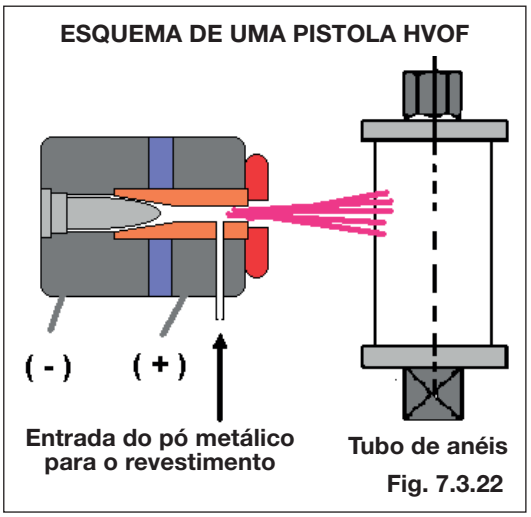


Fig. 7.3.22

Tratamentos superficiais

Com o objetivo de auxiliar no amaciamento do motor e fornecer ao anel maior proteção contra a corrosão provocada por uma eventual estocagem incorreta em ambientes úmidos, ou mesmo no transporte marítimo, os anéis são submetidos a tratamentos superficiais como:

Fosfatização

É uma camada de cristais de fosfato de manganês que, além de proteger a superfície do anel contra a corrosão, se desgasta mais facilmente que o material base, proporcionando um assentamento mais rápido. Como a superfície é porosa, também retém óleo lubrificante, evitando a escoriação no início do funcionamento.

Ferroxidação

Trata-se de uma camada de óxido de ferro, extremamente duro, que tem a função de proteger o anel contra a corrosão e proporcionar um assentamento rápido nas primeiras horas de funcionamento, sem o perigo de escoriação.

Estanhagem

A camada de estanho protege o anel contra a corrosão e tem propriedades lubrificantes que auxiliam no início de funcionamento.

7.4 — Tipos de anéis

Forma dos anéis e forças atuantes

A forma do anel é outra característica importante, pois é responsável pela distribuição de pressão na parede do cilindro. Tal forma é obtida no torneamento do diâmetro externo do anel através de um torno CNC, podendo ser feita de três maneiras diferentes.

Sem Ovalização

Possui forma redonda e tem a distribuição de pressão homogênea ao redor de todo o perímetro do anel (Fig. 7.4.1).

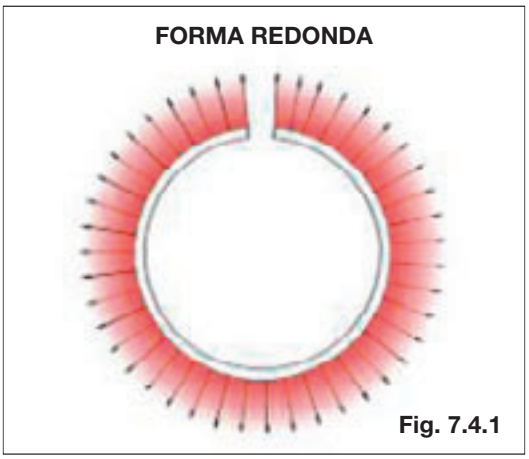


Fig. 7.4.1

Ovalização Negativa

A distribuição das pressões é em forma de "maçã", como mostra a Figura 7.4.2, ou seja, a pressão é menor nas pontas do anel.

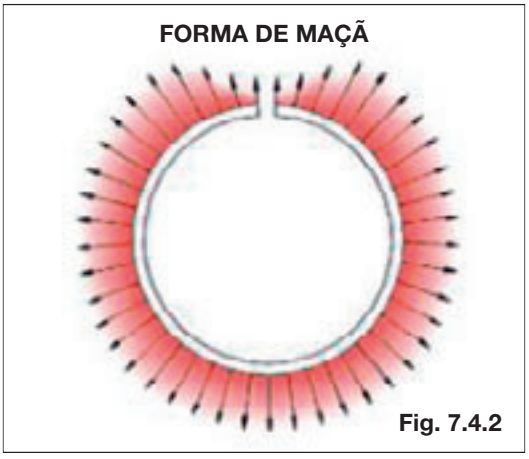


Fig. 7.4.2

Ovalização Positiva

Tem a distribuição das pressões em forma de "pêra", como mostra a Figura 7.4.3. Ou seja, a pressão é maior na região das pontas do anel.

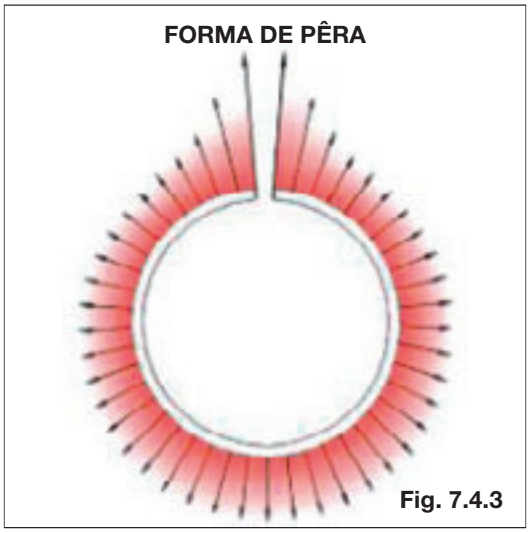


Fig. 7.4.3

O esquema a seguir representa uma distribuição das forças atuantes nos anéis, quando em funcionamento dentro do motor (Figura 7.4.4).

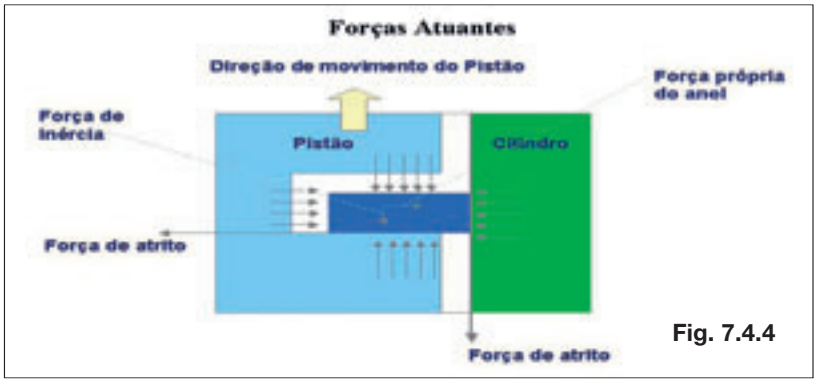


Fig. 7.4.4

Os anéis podem ser divididos em:

Anel de Compressão

É responsável por efetuar a vedação da câmara de combustão, evitando assim a passagem de gases da combustão para o cárter. Grosseiramente, o anel de compressão tem uma capacidade de vedação de 80%. Efetua a troca do calor absorvido pelo pistão durante a combustão e transmite-o para a

parede do cilindro (Fig. 7.4.5). Os perfis podem ser dos tipos: Face Retangular, Trapezoidal / Semi-Trapezoidal, Face Cônica (Fig. 7.4.6), Face Abaulada / Abaulada Assimétrica, Torsional Positivo e Cônico Torsional Negativo (Fig. 7.4.7).

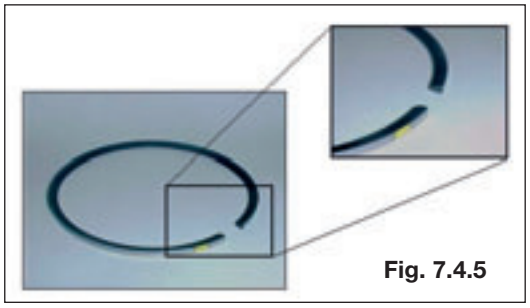


Fig. 7.4.5

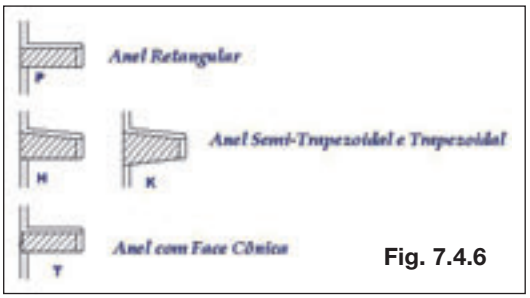


Fig. 7.4.6

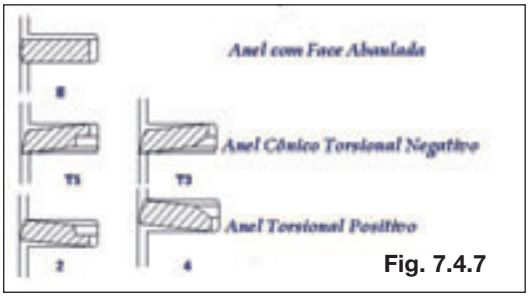


Fig. 7.4.7

Anel Raspador ou Napier

É responsável pela raspagem do excesso de óleo lubrificante existente na parede do cilindro e também auxilia na troca de calor (Fig. 7.4.8). Pode ser dos tipos 6, T7Z, T6 e T7, entre outras combinações de perfis (Fig. 7.4.9).

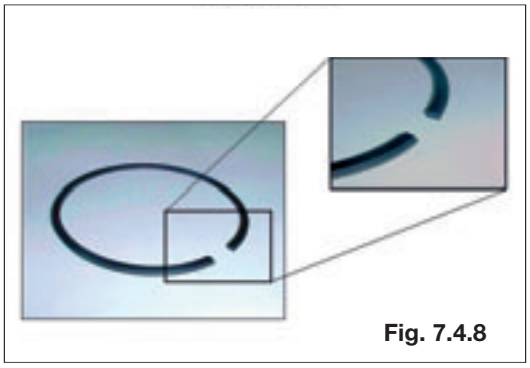


Fig. 7.4.8

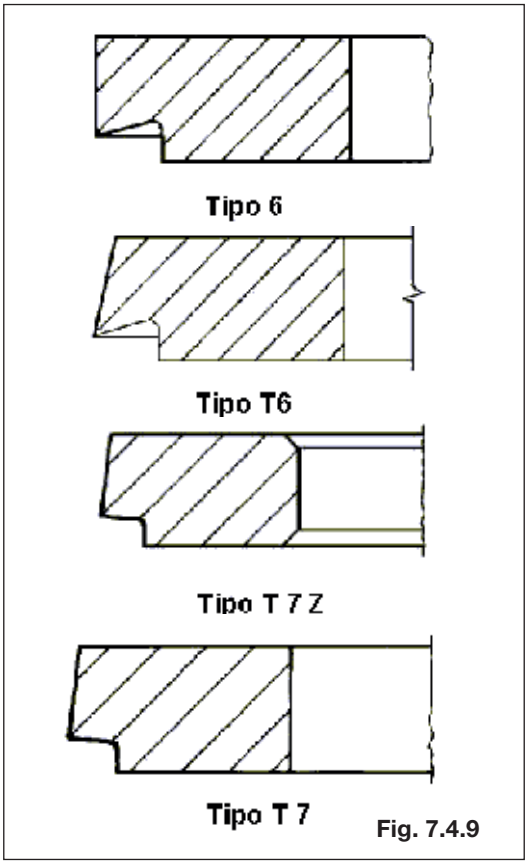


Fig. 7.4.9

Anel de Óleo

É responsável pelo controle do filme de óleo lubrificante na parede do cilindro e por devolver o excesso de óleo para o cárter. Apresentamos a seguir os principais tipos.

Uma peça: composto apenas pelo próprio anel de ferro fundido, cuja força tangencial é dada por ele mesmo. Mostramos, na Figura 7.4.10, dois exemplos de perfis.

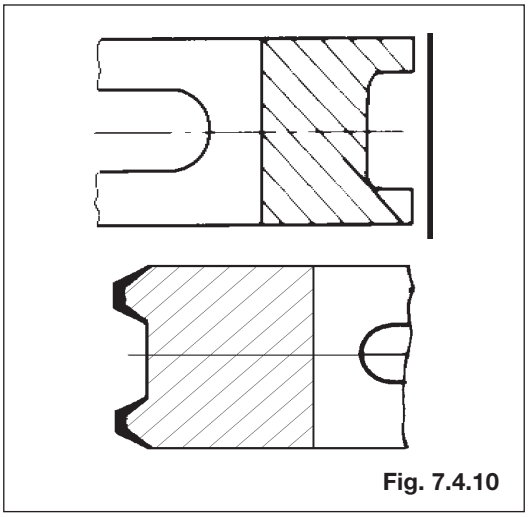


Fig. 7.4.10

Duas peças: é composto por um anel de ferro fundido ou de aço (I-Shaped) com um canal interno para o alojamento da mola, sendo esta a responsável pela força tangencial do conjunto (Fig. 7.4.11). A Figura 7.4.12 mostra dois perfis existentes.

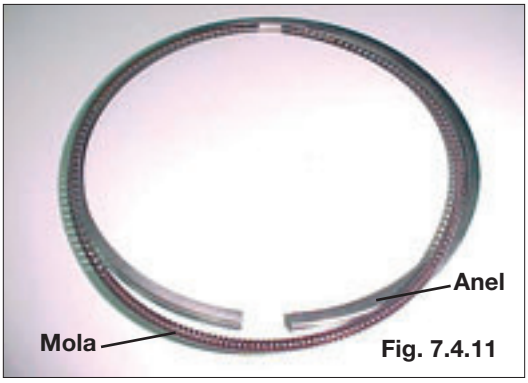


Fig. 7.4.11

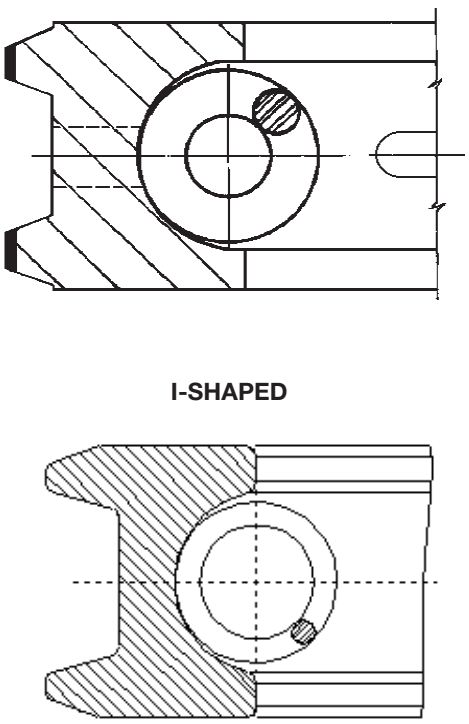


Fig. 7.4.12

Três peças: o conjunto é formado por dois segmentos e um espaçador, que é o responsável pela força tangencial do conjunto. As peças são todas em aço e os espaçadores podem ser dos tipos "9", "81" e "98", respectivamente mostrados na Figura 7.4.13. A Figura 7.4.14 mostra a foto do conjunto 81.

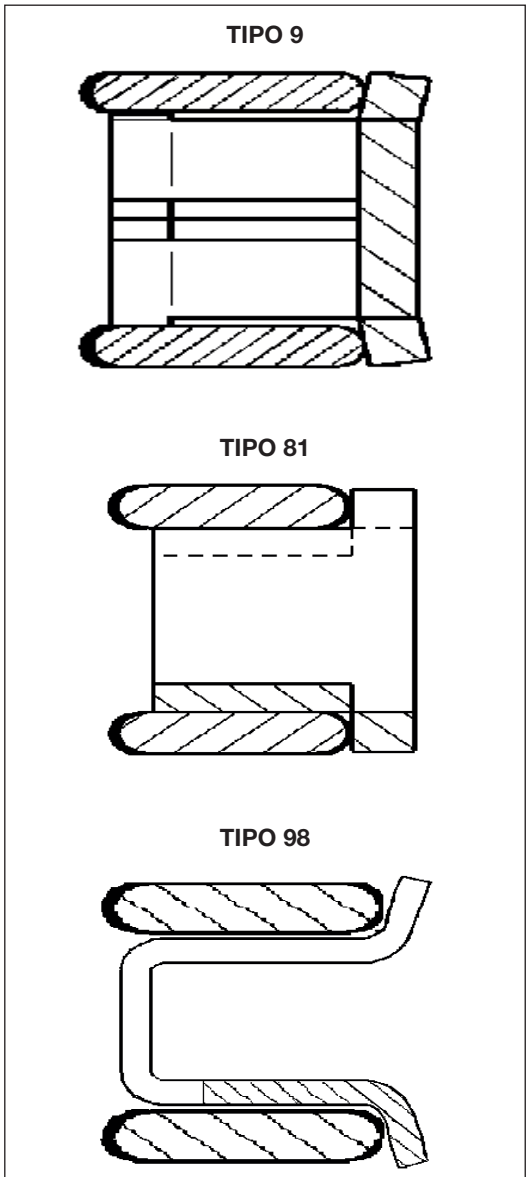


Fig. 7.4.13

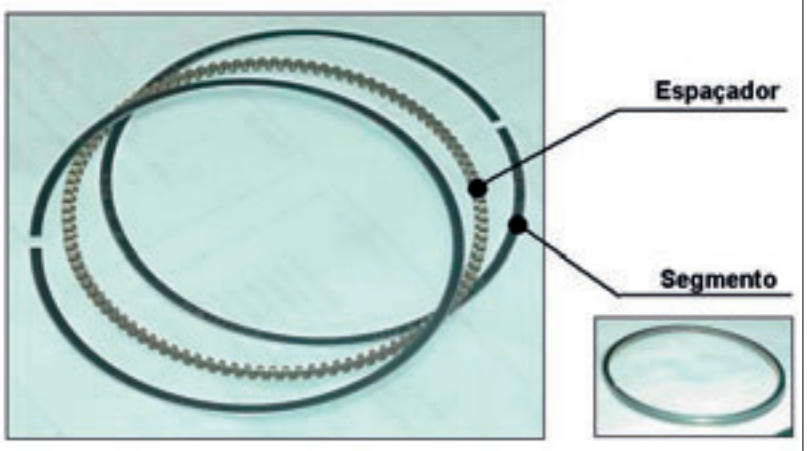


Fig. 7.4.14

Evolução do pacote de anéis

Com a constante necessidade de oferecer ao mercado, motores mais econômicos e mais potentes, os anéis também passaram por uma evolução no material utilizado em sua fabricação, quanto ao revestimento da face, os perfis.

Esta evolução ocorreu tanto para motores ciclo Otto como para motores ciclo Diesel, representados respectivamente nas Figuras 7.4.15 e 7.4.16 .

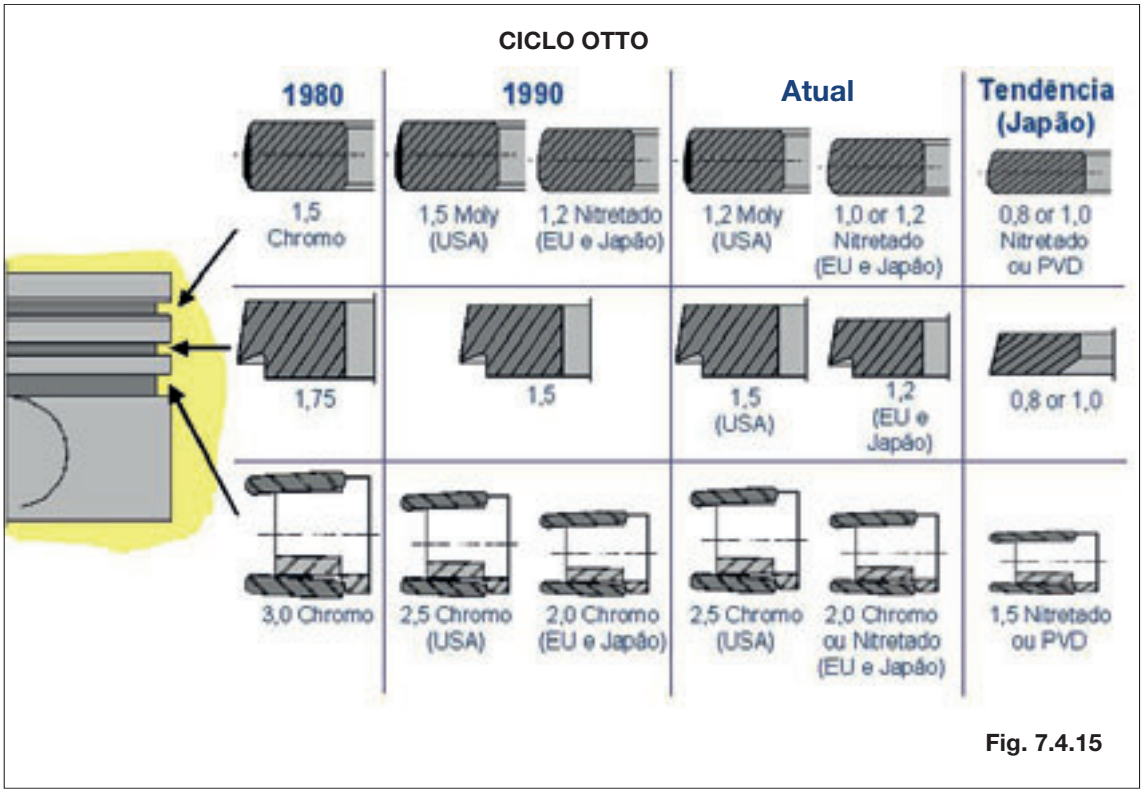


Fig. 7.4.15

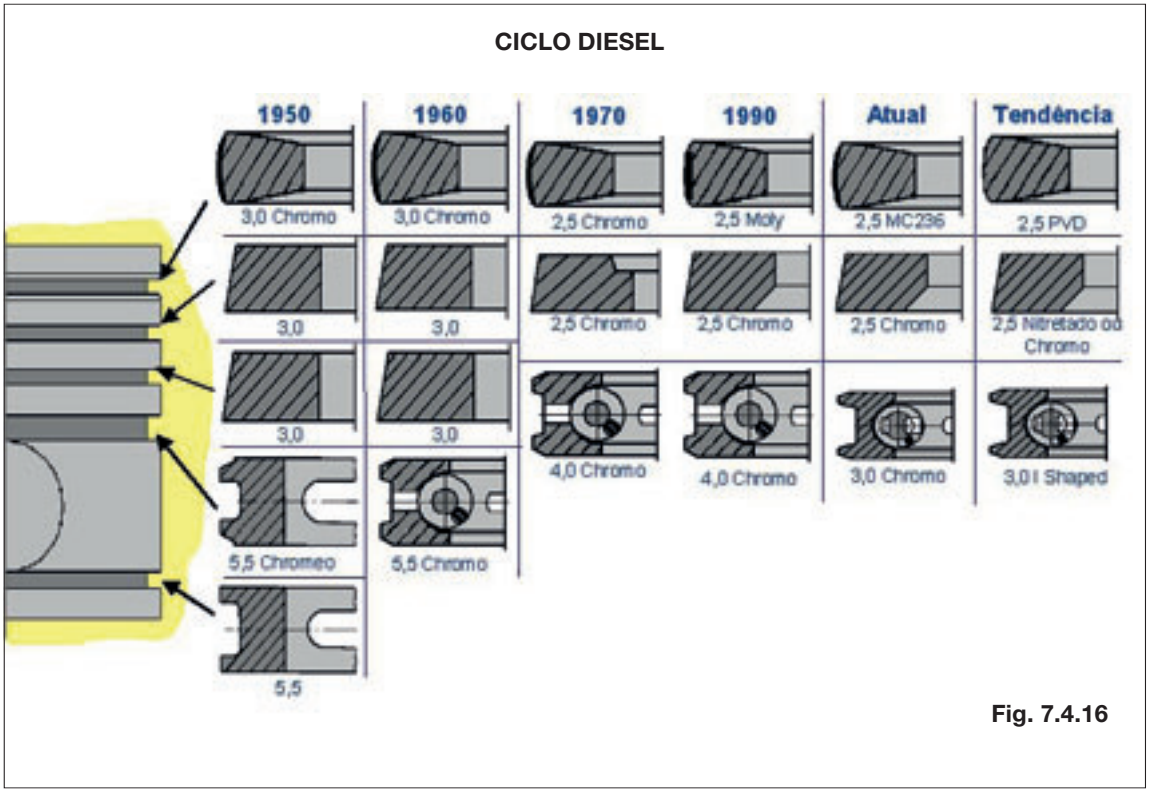
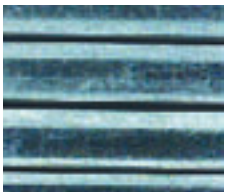


Fig. 7.4.16

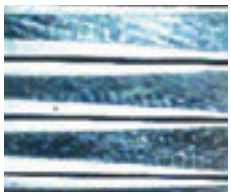
8 — Falhas prematuras em anéis de pistão

Características normais de trabalho

As características dos anéis apresentados nas figuras a seguir são normais de funcionamento, pois o desgaste da face de contato é compatível com a vida útil de todo o conjunto motriz.

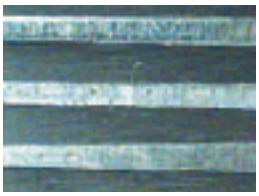


Anel de 1º canalete. Face de trabalho – faixa de contato com o cilindro. 180° do GAP.

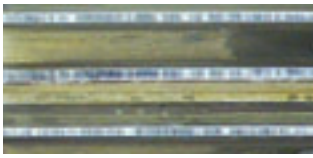


Pontas

Anel de 2º canalete. Face de trabalho – faixa de contato com o cilindro. 180° do GAP.



Pontas



Anel de 3º canalete. Face de trabalho – faixa de contato com o cilindro. 180° do GAP.

Pontas

8.1 — Falhas prematuras em anéis por erros de montagem

Montagem invertida do anel

Aspecto

- A aparência visual dos anéis montados no pistão mostra que estes foram montados invertidos, ou seja, com a gravação existente na superfície lateral virada para o lado de baixo do pistão.

Causas

- Montagem errada/invertida dos anéis dentro dos canaletes do pistão (Figs. 8.1.1 e 8.1.2). Quando isto ocorre, os anéis não cumprem o seu papel como deveriam, permitindo que os gases da câmara de combustão passem facilmente para o cárter, ocasionando uma mistura ar/combustível irregular admitido na câmara de combustão. A temperatura do óleo lubrificante e a pressão no cárter aumentam. E além disso, a montagem invertida dos anéis provoca o aumento no consumo de óleo lubrificante, pois, ao invés de raspar, ele irá bombear o óleo lubrificante, para ser queimado com a mistura ar/combustível dentro da câmara de combustão. Poderá também aumentar a contaminação do óleo lubrificante pelos gases, o qual diminuirá a vida útil do lubrificante e produzirá danos aos demais componentes do motor (bronzinas de mancais e biela e buchas).

Correções

- Substituir o jogo de anéis e montá-lo com a marcação voltada para o topo do pistão.

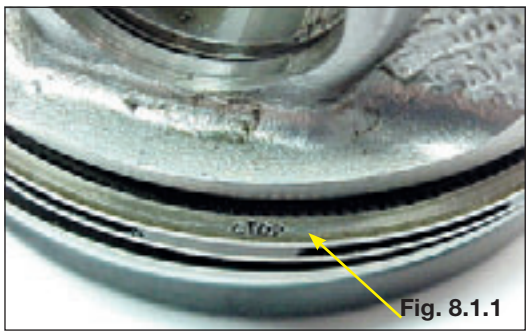


Fig. 8.1.1

Marca do anel montado para o lado de baixo

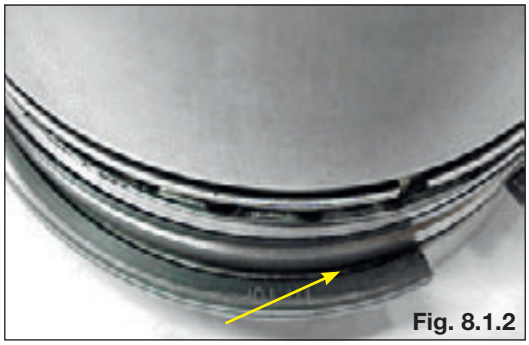


Fig. 8.1.2

Marca do anel montado para o lado de baixo

Montagem sobreposta das pontas da mola helicoidal ou das pontas do espaçador

Aspecto

- Mola helicoidal do anel de óleo ou espaçador montados com as pontas sobrepostas.

Causas

- A montagem da mola helicoidal (Fig. 8.1.3) ou do espaçador com as pontas sobrepostas (Fig. 8.1.4), no conjunto anel de óleo, comprometem a pressão radial do anel e, conseqüentemente, a função de controlar o excesso de óleo lubrificante existente na parede do cilindro, aumentando sensivelmente o consumo.

Os anéis de óleo com molas helicoidais devem ter as pontas da mola posicionadas a 180º do GAP.

No caso dos anéis de óleo de 3 peças, as pontas devem estar deslocadas uma da outra em 90°.

Correções

- No anel de 2 peças, montar a mola do anel de óleo com as pontas a 180º do GAP. No caso do anel de 3 peças, não sobrepor as pontas do espaçador.

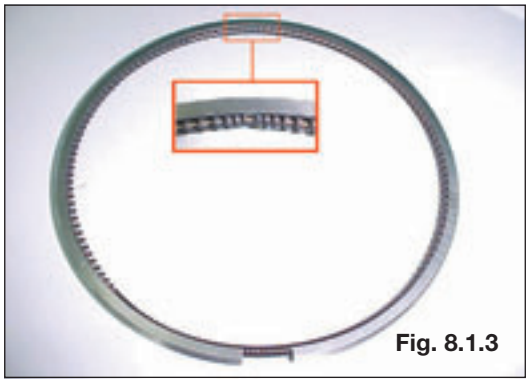


Fig. 8.1.3

Fig. 8.1.4

Montagem com corpo estranho

Aspecto

- Os anéis apresentam corpo estranho impregnado na face de trabalho e na face lateral do anel (Fig. 8.1.5).

Causas

- A contaminação dos anéis pelo material impregnado ocorreu durante a montagem do motor. A utilização de adesivos para vedação nos motores, em regiões próximas aos cilindros, não é procedimento recomendado por nenhuma montadora/fabricante. Neste caso, os anéis contaminados tiveram a sua função de vedação comprometida, pois as pressões, ao longo de sua periferia, estavam distribuídas de forma irregular devido ao "calço" provocado pelo adesivo. Isto compromete a vida útil dos anéis, causando o aumento no consumo de óleo lubrificante e desgaste irregular dos cilindros.

Correções

- Fazer a montagem, seguindo as recomendações da montadora/fabricante do motor.

- Efetuar a limpeza de todos os componentes internos do motor, utilizando um procedimento adequado, com materiais e produtos isentos de sujeiras e impurezas.

Fig. 8.1.5

Montagem dos anéis com ferramentas inadequadas ou danificadas

Aspecto

- O anel apresenta-se torcido (com as pontas desalinhadas) e deformado (Figs. 8.1.6 a 8.1.8).

Causas

- A montagem dos anéis nos canaletes do pistão sem a utilização de ferramentas apropriadas (alicate expansor) cria tensões e deformações indesejáveis, podendo deixá-los com a forma espiral. Desta maneira, as pontas dos anéis montados

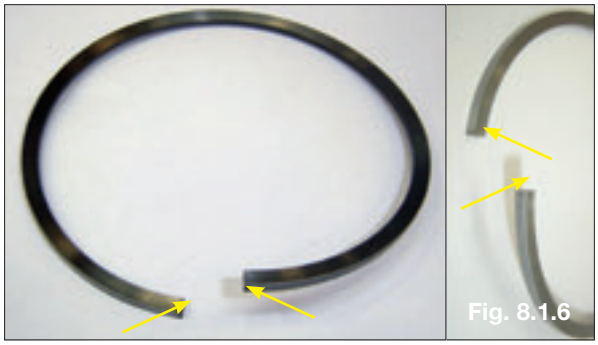
nos canaletes exercerão pressões localizadas contra as faces laterais dos canaletes do pistão, promovendo um desgaste nessa região, além de comprometer a vedação lateral. Devido a estas condições, os anéis não terão o movimento de rotação dentro do canalete, provocando o desgaste irregular na face de trabalho do anel e no cilindro, tendo, como conseqüência, o aumento do consumo de óleo do “Blow-by” (fluxo de gases da combustão para o cárter).

A ferramenta utilizada para comprimir os anéis montados no pistão, quando se coloca o mesmo dentro do cilindro, chama-se "cinta". Se a cinta não conseguir fechar totalmente o anel dentro do canalete, a lateral do anel irá bater contra a borda do cilindro (o qual deve ter um pequeno chanfro para auxiliar a montagem), podendo provocar danos ou até a quebra do anel (Fig. 8.1.8).

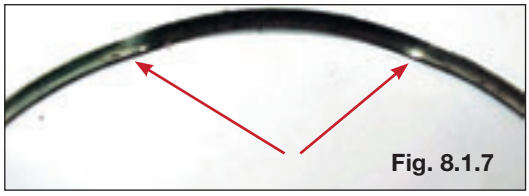
A recomendação de abertura para a instalação do anel no canalete não pode exceder a 8,3 vezes a espessura radial do anel. Por exemplo: um anel com espessura radial de 3,00mm terá a abertura máxima entre pontas de: 3,00mm x 8,30 = 24,90mm.

Correções

- Não montar os anéis utilizando as mãos para a abertura entre pontas.
- Montar os anéis utilizando ferramentas apropriadas e em boas condições, como o alicate expansor para anéis.
- Utilizar cintas adequadas para cada motor, para a colocação do conjunto anel/pistão no cilindro.



Pontas desalinhadas devido à montagem incorreta



Anel montado torcido

Face de contato lascada

8.2 — Partículas estranhas no ar admitido

Contaminação por abrasivo

Aspecto

- Os anéis apresentam riscos e desgaste prematuro na face de trabalho (Figs. 8.2.1, 8.2.2, 8.2.3, 8.2.6 e 8.2.7), bem como nas faces laterais (Figs. 8.2.4 e 8.2.5). Os anéis de óleo apresentam a face de trabalho lisa e larga (em alguns casos, inexistentes).

Causas

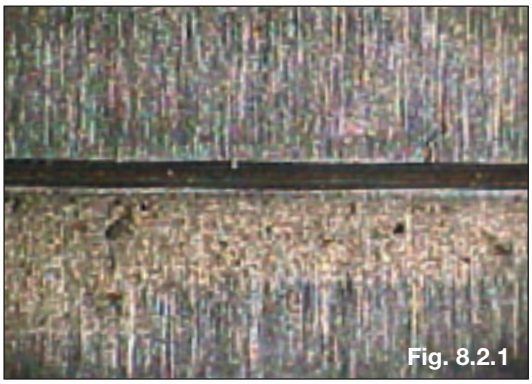
- Partículas sólidas de diferentes tamanhos e durezas estão presentes no ar. Tais partículas, como a areia (sílica), a poeira, o carvão, entre outros, quando aspirados para dentro do motor, acarretam grandes danos aos anéis, provocando: desgaste prematuro do revestimento da face de trabalho e da face lateral, redução da espessura radial, aumento da folga entre pontas, redução da pressão e riscos profundos nos cilindros e na saia dos pistões.

A contaminação dos anéis por abrasivo pode ocorrer em virtude de:

- **deficiência no sistema de filtração de ar –** elemento filtrante saturado ou de aplicação incorreta, furo ou rachadura na mangueira de ar, braçadeiras danificadas e junta do coletor de admissão danificada;

- **resíduo de usinagem –** limpeza malfeita das partículas abrasivas do brunimento daquelas levadas pelo vento e resíduos de jateamento de componentes do motor, como, por exemplo, o cabeçote;

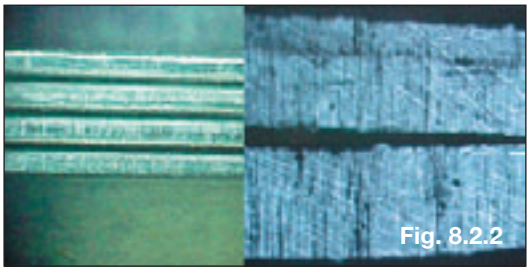
- Sistema de filtração de combustível – aplicação incorreta dos filtros de combustível e combustível de má qualidade.



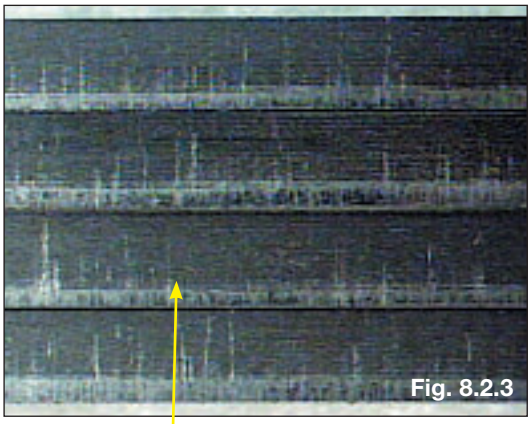
Anéis com riscos na face de contato

Correções

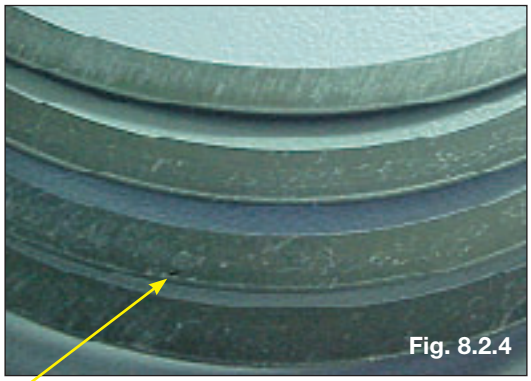
- Utilizar elementos filtrantes somente para as aplicações recomendadas, verificá-los e substituí-los, segundo as recomendações da montadora/fabricante.
- Efetuar um check-up periódico no sistema de filtração (mangueiras, braçadeiras, juntas, etc.).
- Preparar e limpar corretamente os componentes internos para a montagem do motor.
- Utilizar combustíveis de boa qualidade, assim como elementos filtrantes e filtros separadores corretos.



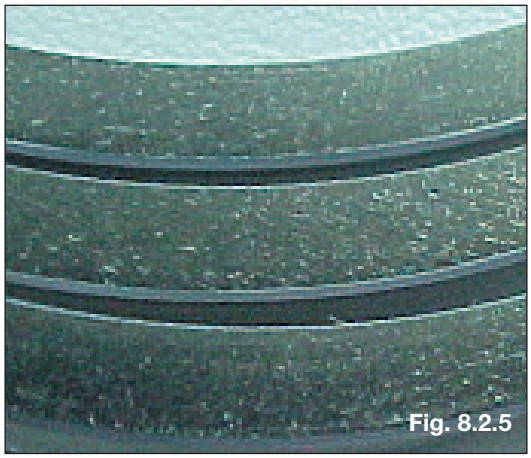
Danos/riscos provocados na face de contato do anel



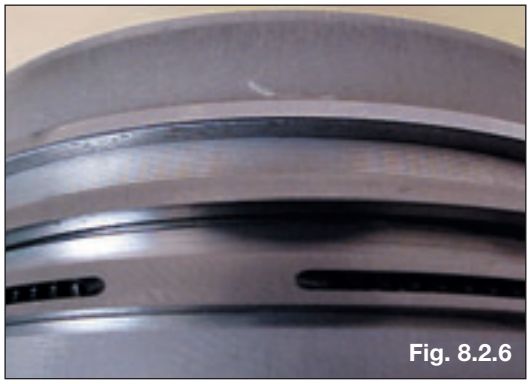
Anel com riscos na face de contato



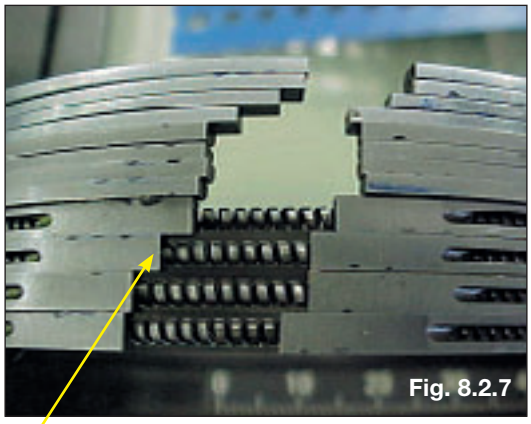
Anel com riscos na face lateral



Anel com partículas abrasivas na lateral



Anel da terceira canaleta desgastado



Desgaste acentuado da terceira canaleta

8.3 — Lubrificação insuficiente

Lavagem de cilindro

Aspecto

- Os anéis apresentam sinais de escoriações "scuffing" na face de trabalho (Figs. 8.3.1 a 8.3.5).

Causas

- A existência de óleo lubrificante tem várias funções, dentre elas: auxilia no resfriamento dos componentes internos do motor e diminui o atrito entre as partes móveis. Quando ocorre a combustão no topo do pistão, o calor gerado é dissipado para os anéis (principalmente o anel da primeira canaleta) que, por sua vez, transferem este calor para a parede do cilindro e para o óleo lubrificante ali existente. A película de óleo existente entre os anéis e o cilindro, apesar de ser muito fina, reduz consideravelmente o atrito, evitando o contato direto do metal com metal.

A lavagem do óleo lubrificante existente na parede do cilindro tem como principais causas:

- **deficiência do sistema de injeção e/ou carburação –** as principais causas da lavagem do cilindro são quando a bomba e os bicos injetores estão desregulados no que diz respeito à alteração do débito de óleo diesel, à rotação da bomba injetora, ao sincronismo entre o regulador e a bomba, ao sincronismo entre os elementos da bomba injetora, à projeção e pressão de abertura dos bicos injetores fora do recomendado e à alteração do topo do pistão no caso dos motores Ciclo Diesel. Para os motores Ciclo Otto, o "grande vilão" é o carburador com aplicação errada e/ou desregulado. Isto provocará a retirada do óleo lubrificante da parede do cilindro. Tanto no motor Diesel como no Otto, a insuficiência de óleo lubrificante no cilindro irá aumentar o atrito e o aquecimento dos anéis, que podem chegar a soltar placas (Fig. 8.3.5) e iniciar o processo de engripamento (travamento do cilindro), ou mesmo desgastar excessivamente o cilindro;
- **deficiência do sistema de lubrificação –** a bomba de óleo lubrificante desgastada reduzirá sua capacidade de bombeamento, tendo, como conseqüência, a diminuição da pressão em todo o circuito do óleo, comprometendo, assim, a lubrificação do motor, levando-o a sofrer os danos anteriormente citados.

Fig. 8.3.1

Correções

- Manter o sistema de injeção ou de carburação sempre regulado, seguindo as recomendações da montadora/fabricante.
- Verificar periodicamente o sistema de lubrificação do motor.
- Verificar e manter a originalidade da turbina.

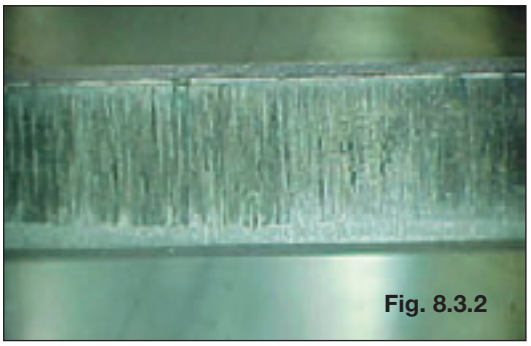


Fig. 8.3.2

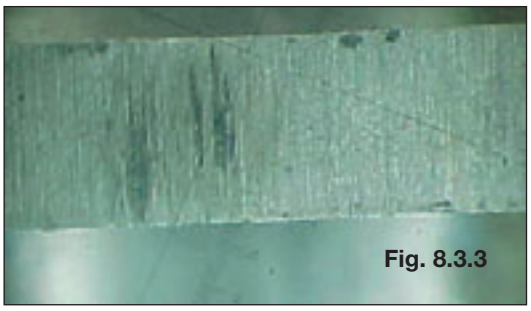


Fig. 8.3.3

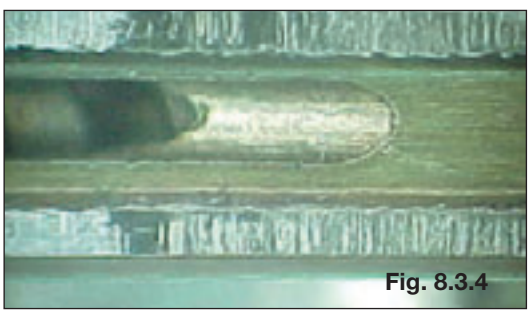


Fig. 8.3.4

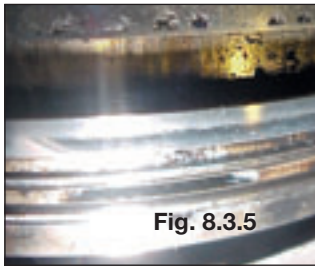


Fig. 8.3.5

Desplacamento da cobertura do anel

8.4 — Outros fatores

Brunimento

Aspecto

- Os anéis apresentam riscos na face de trabalho, principalmente os de primeiro canalete (Fig. 8.4.1).

Causas

- A principal causa está relacionada com a rugosidade do brunimento dos cilindros. A rugosidade elevada provocará desgaste e risco na face de trabalho do anel. A baixa rugosidade dificultará o assentamento dos anéis e reterá menos óleo lubrificante na parede dos cilindros.

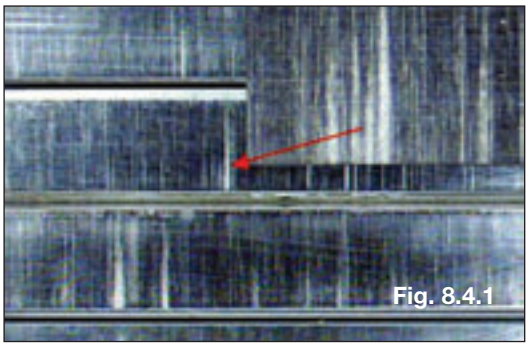


Fig. 8.4.1

Correções

- Efetuar a retífica do cilindro (brunimento), seguindo as recomendações da montadora/fabricante, respeitando o ângulo de inclinação e a rugosidade especificados.

Adulteração dos anéis

Aspecto

- Os anéis de 1º, 2º e 3º canaletes apresentam evidências de adulteração nas pontas.

Causas

- O retrabalho das pontas dos anéis tem como principal objetivo diminuir o diâmetro externo dos mesmos, para adaptá-los em aplicações diferentes daquelas recomendadas pela montadora/fabricante. A alteração das características construtivas dos anéis é procedimento não recomendado pela MAHLE Metal Leve S.A., implicando na perda total da garantia.

Correções

- Não efetuar retrabalhos de nenhuma espécie nos anéis.
- Utilizar os anéis somente para as aplicações indicadas pela montadora/fabricante.

Anel de 1º Canalete

Face/canto externo das pontas (Figs. 8.4.2 a 8.4.5).

Ponta adulterada – esmerilhada, eliminando o chanfro externo/acabamento irregular.

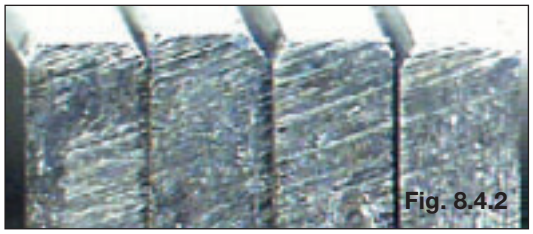


Fig. 8.4.2

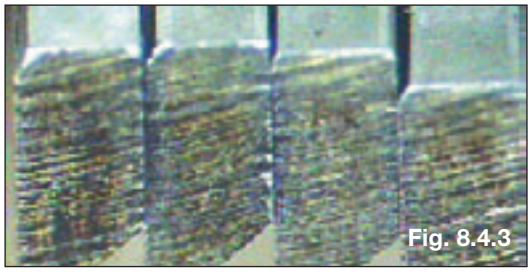


Fig. 8.4.3

Ponta sem adulteração – acabamento original, com o chanfro externo na face cromada.

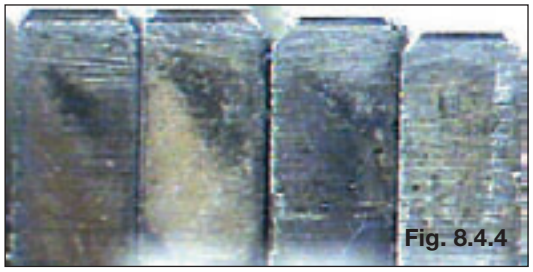


Fig. 8.4.4

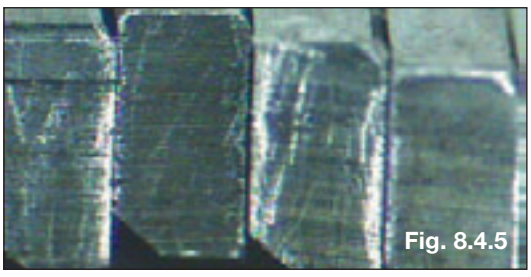


Fig. 8.4.5

Anel de 2º Canalete

Face das pontas (Figs. 8.4.6 e 8.4.7).

Ponta adulterada – esmerilhada, ausência do fosfato/tratamento superficial.

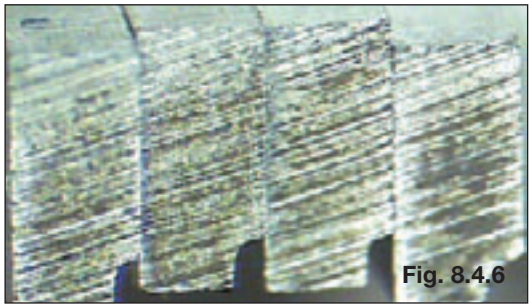


Fig. 8.4.6

Ponta sem adulteração – acabamento original, com o tratamento superficial.

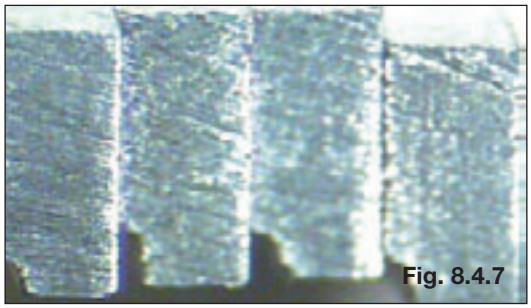


Fig. 8.4.7

Anel de 3º Canalete

Face das pontas (Figs. 8.4.8 e 8.4.9).

Ponta adulterada – esmerilhada, ausência do fosfato/tratamento superficial.

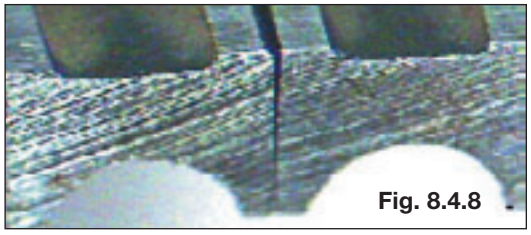


Fig. 8.4.8

Ponta sem adulteração – acabamento original, com o tratamento superficial.

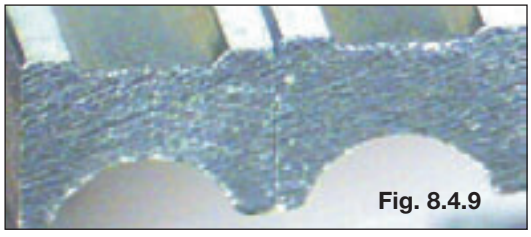


Fig. 8.4.9

Aspecto das pontas dos espaçadores (Figs. 8.4.10 e 8.4.11).

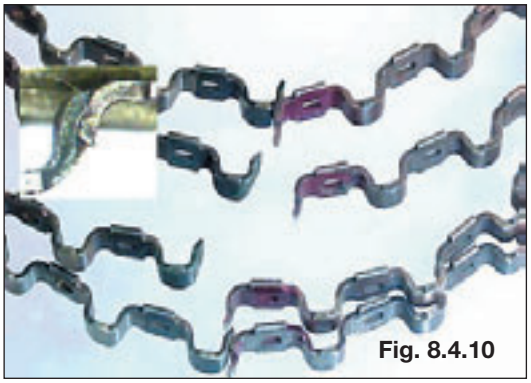


Fig. 8.4.10

Adulteração em uma das pontas

Fig. 8.4.11

Forma e cores das pontas da mola nova (sem retrabalho)

CAMISAS

9 — Camisas

Camisa é um elemento estático que compõe a estrutura do bloco, proporcionando ao conjunto um sistema fechado para os gases em expansão, assim como promove a troca térmica do calor gerado na combustão com a água ou o ar que circulam ao redor desta. Algumas camisas proporcionam o reaproveitamento de blocos.

9.1 — Objetivos e princípios de funcionamento

Os principais objetivos dos diferentes tipos de camisas são:

- manter a câmara de combustão vedada;
- efetuar a troca térmica do calor gerado dentro da câmara de combustão com o meio refrigerante (água ou ar);
- reaproveitamento de bloco.

A mistura de combustível, ao ser admitida para dentro do cilindro, entrará em combustão espontânea após ser comprimida (diesel) ou por intermédio de faísca de ignição criada dentro da câmara durante a compressão da mistura (álcool e gasolina).

A combustão dos gases em expansão ocorrerá dentro de um sistema fechado, para que parte da energia gerada impulsione o pistão para baixo e assim sucessivamente movimente o eixo virabrequim, conseqüentemente, transformando a energia em movimento.

As camisas proporcionam ao sistema a condição fechada e necessária ao processo de transformação da energia.

9.2 — Nomenclatura das camisas

É utilizada no intuito de se obter melhor padronização no uso das denominações utilizadas para a identificação das partes que compõem a camisa, bem como definir os principais termos identificados nas Figuras 9.2.1 e 9.2.2.

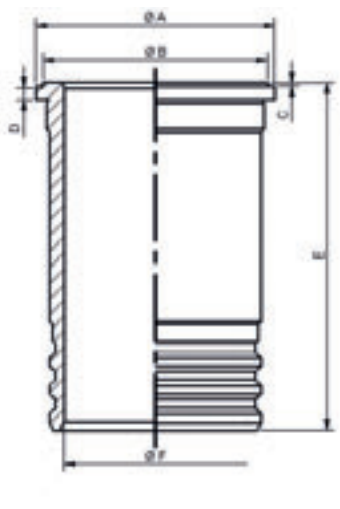


Fig. 9.2.1 – Camisa úmida

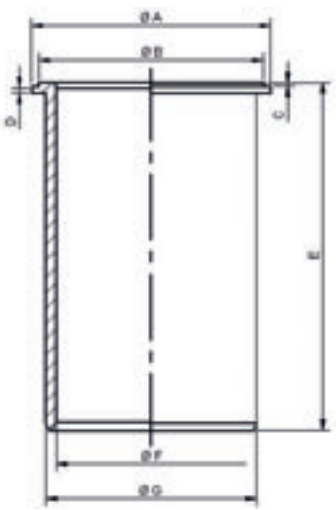
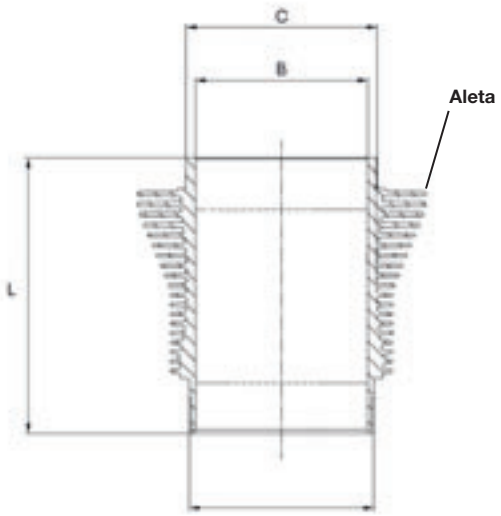


Fig. 9.2.2 – Camisa seca

CAMISA ÚMIDA E SECA

A - diâmetro flange
B - diâmetro do ressalto anti-chama (Lip)
C - altura do ressalto anti-chama (Lip)
D - altura do flange
E - comprimento total
F - diâmetro interno
G - diâmetro externo (camisa seca)



CAMISA ALETADA

L – altura total
B – diâmetro interno
C – diâmetro externo do apoio superior
D – diâmetro externo do apoio inferior

Fig. 9.2.3

9.3 — Tecnologia das camisas

As camisas são produzidas em ferro fundido e através do acréscimo de elementos de liga se obtém melhora em suas propriedades mecânicas, como o aumento da resistência à fadiga, mesmo em condições severas de trabalho como a de temperatura elevada e pressão.

As camisas são fabricadas pelo processo de fundição estática e por centrifugação.

Na fundição estática, se produz a camisa denominada camisa aletada. As camisas obtidas a partir deste processo possuem boa resistência ao desgaste, boa usinabilidade e baixo custo.

Na fundição centrífuga (Fig. 9.3.1), são produzidas camisas secas e camisas molhadas. As camisas obtidas pelo processo de centrifugação possuem maior módulo elástico e dureza.

Fig. 9.3.1

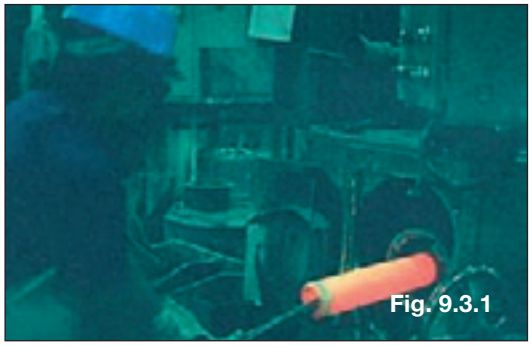


Fig. 9.3.1

Fig. 9.3.1

Fund. centrífuga: alimentação da máquina, retirada do tubo e alívio de tensão.

Brunimento é a operação que tem como objetivo remover os riscos horizontais deixados nas camisas após a usinagem interna, proporcionando ao cilindro um acabamento final uniforme, com ângulo de brunimento (Fig. 9.3.2) e rugosidade controlada (Fig. 9.3.3). Uma de suas funções é reter o óleo lubrificante.

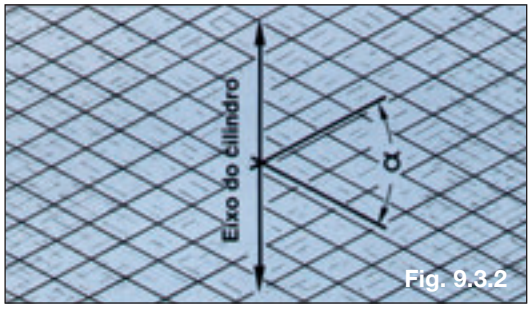


Fig. 9.3.2

O ângulo de brunimento deve estar entre 30º e 60º

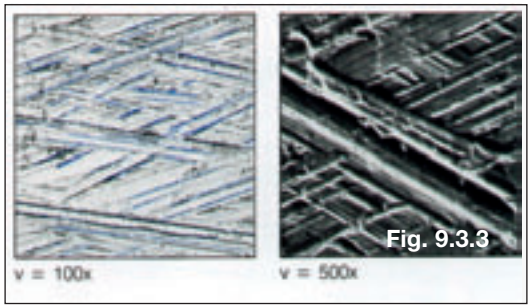


Fig. 9.3.3

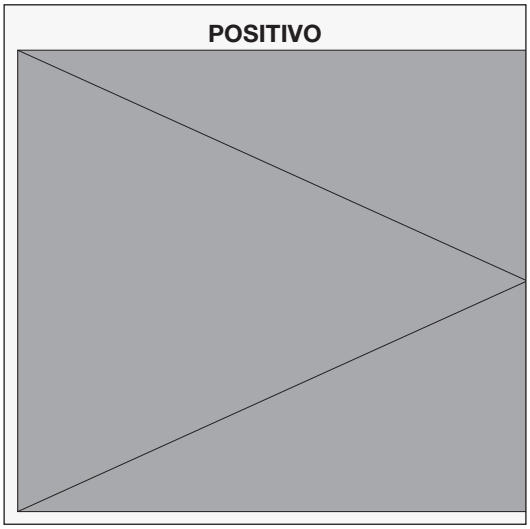
Vista em corte do brunimento

O brunimento tem suas características determinadas pela velocidade de corte, pressão das pedras, especificação das pedras de brunir e ferramental.

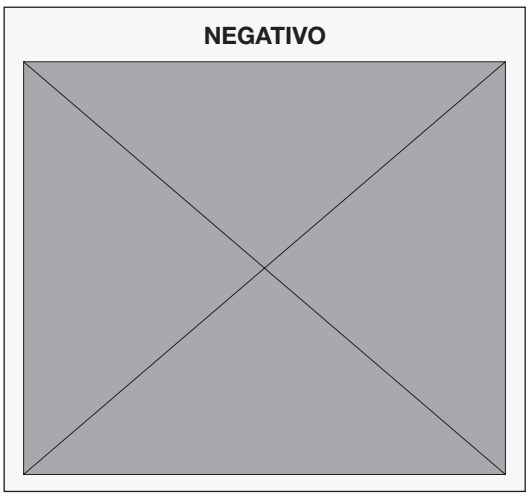
Características do brunimento

Ângulo de brunimento são os ângulos formados pelo cruzamento dos sulcos que são originados pela pressão aplicada nas pedras brunidoras contra a parede interna do cilindro e que giram com movimento alternativo de subida e descida. A determinação do ângulo de brunimento está relacionada com o número de acionamentos e com a velocidade de corte aplicada nas pedras de brunir. Suas principais funções são auxiliar na rotação dos anéis e reter óleo lubrificante em toda a superfície interna da camisa. A especificação do ângulo de brunimento pode variar para cada fabricante de motores. O ângulo de brunimento pode ser de três tipos.

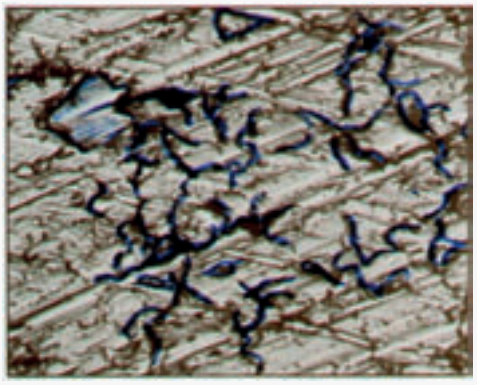
- **Uniforme** — sulcos com ângulo definido de profundidade e largura uniformes.



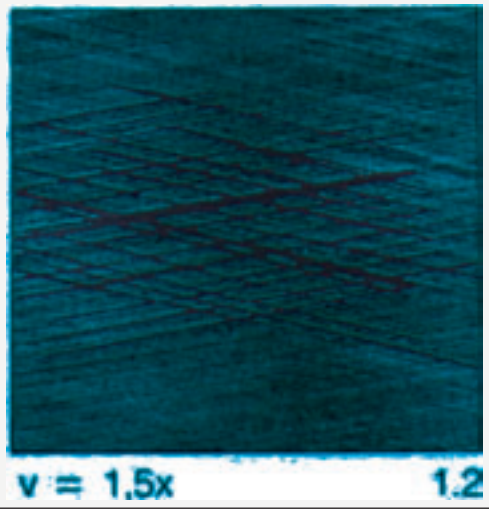
- **Inclinado** — sulcos formando ângulos abertos de profundidade e largura variadas.



NEGATIVO



- **Pouco inclinado** — sulcos formando ângulos fechados de pouca profundidade e largura.

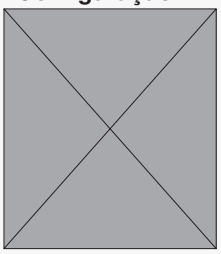
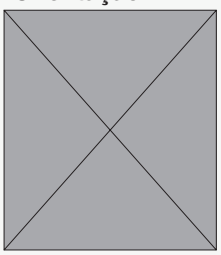


Existem vários fatores que alteram a configuração e a orientação dos sulcos de brunimento.

FATORES

Ferramenta em estado insatisfatório, fixação insuficiente da ferramenta e repetição do brunimento com pedras e velocidades diferentes.

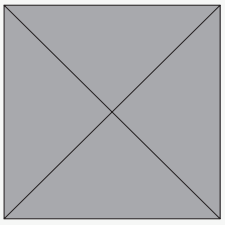
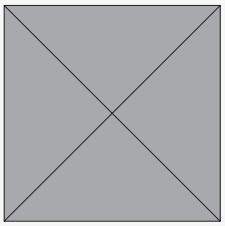
Configuração **Orientação**

FATORES

Pouca remoção de material (foi deixado pouco material para o brunimento), com baixa pressão de corte; granulação muito fina; liga muito dura, com distorção localizada.

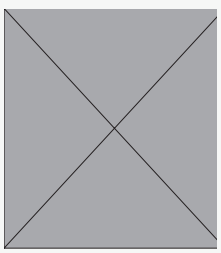
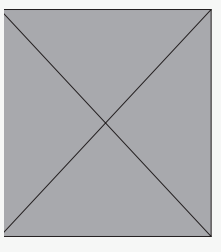
Configuração **Orientação**

FATORES

Pedras de brunir com granulação cúbica e macia, que desgasta rapidamente e carrega os grãos soltos; pedra muito dura e sem fio; liga muito dura, que mais pressiona do que corta; óleo de brunimento incorreto ou muito sujo; pouca refrigeração do brunimento.

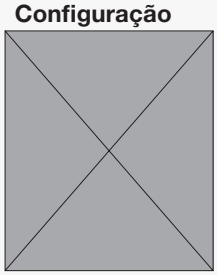
Configuração **Orientação**

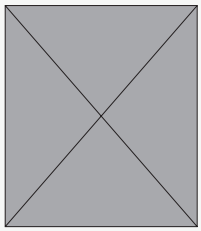
FATORES

Ferramenta em estado insatisfatório, folga na ferramenta de brunir, má fixação da guia de brunir, articulação danificada, insuficiente fixação da ferramenta e cursos desiguais no caso de repetidos brunimentos.

Configuração



Orientação



- **Rugosidade** – os parâmetros de rugosidade são definidos para um comprimento de medição unitário. Os resultados são apresentados como sendo o valor médio de vários comprimentos de medição unitária. Caso contrário, é indicada a quantidade de comprimento de medição. O controle destes parâmetros é feito com o uso de rugosímetro.
- Para que o conjunto pistão / camisa / anéis tenha bom funcionamento, é necessário que a **geometria** das camisas seja a adequada para a aplicação. São utilizados medições e gráficos para o controle das principais características da camisa.

Gráfico de Retilinidade e Paralelismo

Identifica a condição de deformação vertical que a camisa apresenta. Como exemplo, temos a deformação de fechamento causada pelo anel de vedação o'ring quando este se desloca do alojamento durante a instalação de camisa molhada. Na camisa seca, este gráfico mostra a deformação do bloco transmitida para a camisa seca.

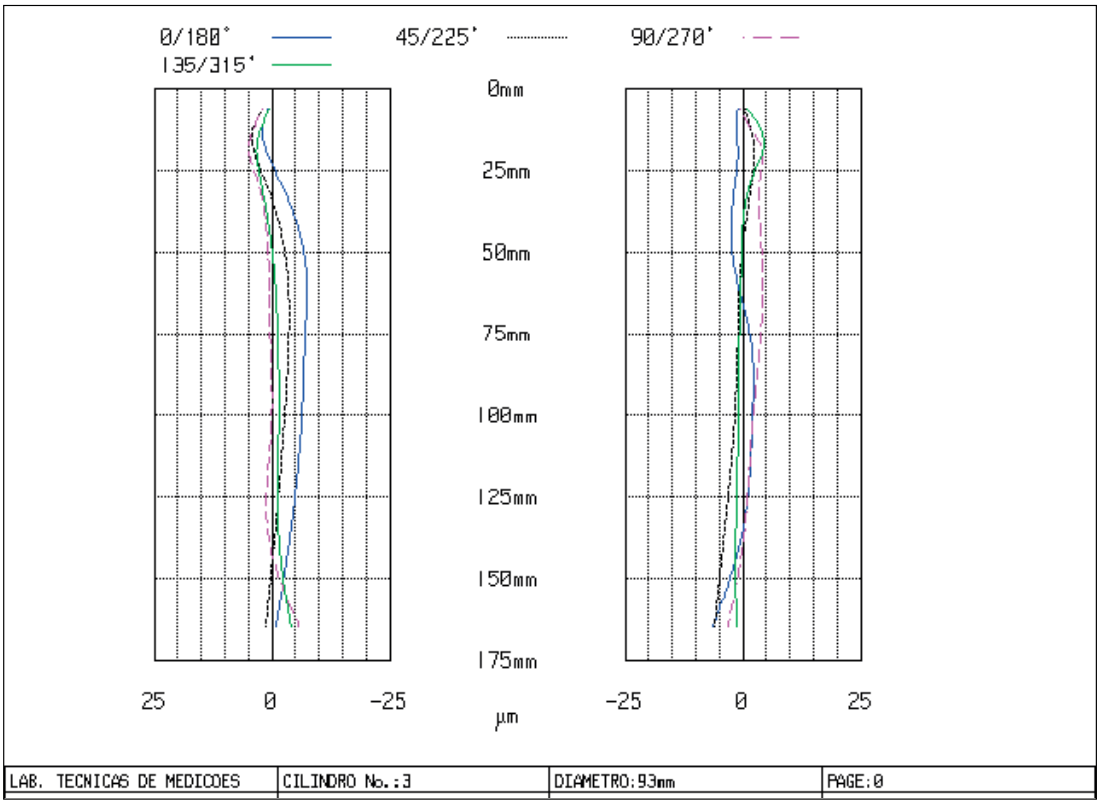


Gráfico de Circularidade

Identifica a deformação circular da camisa. Podemos citar como exemplo a deformação causada na camisa molhada devido à deficiência de apoio da camisa no bloco. A deficiência de apoio também é válida para a camisa seca que utiliza colarinho.

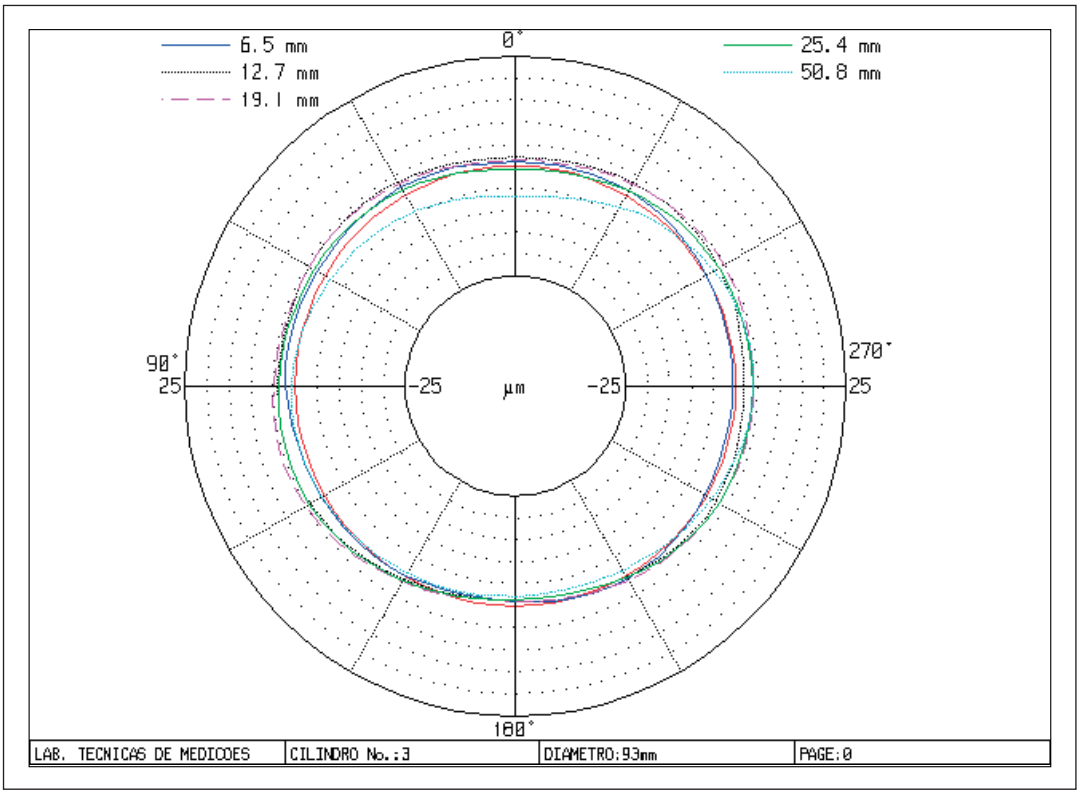
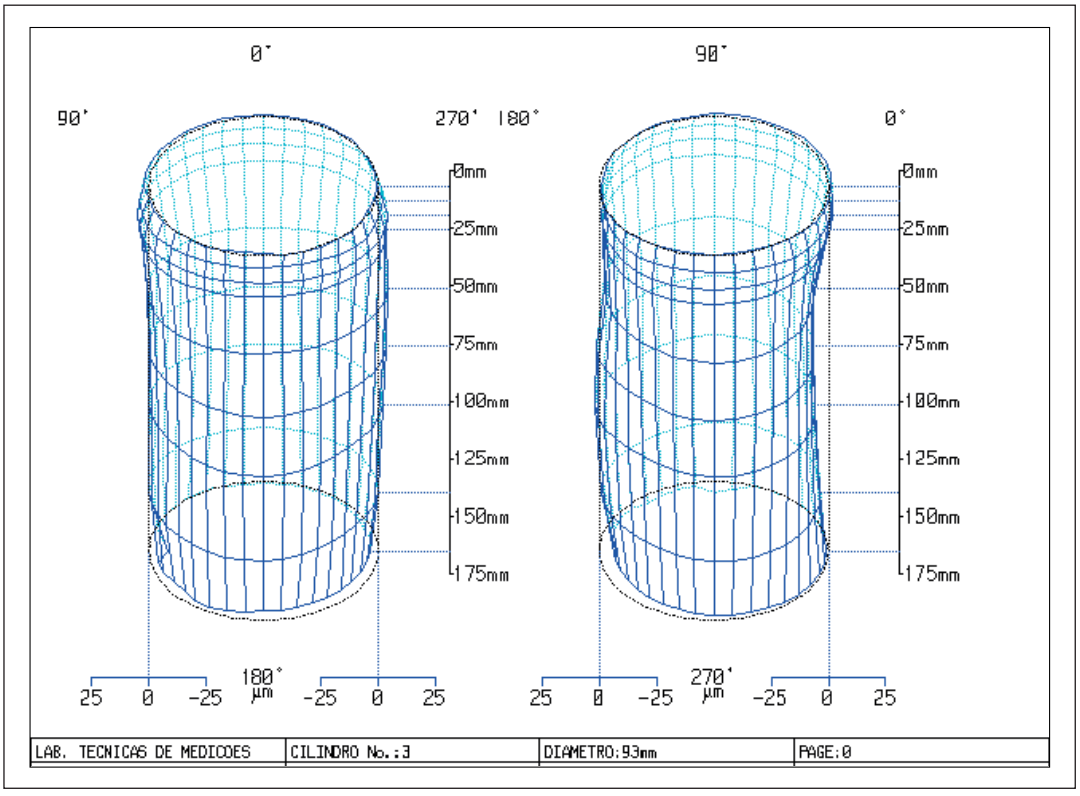


Gráfico de Cilindricidade

Identifica a deformação circular e vertical sofrida pela camisa. Como exemplo, podemos considerar a deformação provocada pelo excesso de aperto ou excesso de interferência.



9.4 — Tipos de camisas

Todos os diferentes tipos de camisas, após a fundição, passam por um processo de estabilização e alívio de tensão. Suas dimensões finais são obtidas através de processos de usinagem como torneamento, mandrilhamento, retificação e brunimento.

As camisas secas só terão suas dimensões finais após sua instalação no alojamento / bloco.

Para que os diferentes tipos de camisas desempenhem sua função, são necessários controles que permitirão o correto apoio, assentamento e vedação da camisa com o cabeçote e bloco.

Cada motor já é projetado para utilizar um tipo de **sistema de refrigeração** e, conseqüentemente, um tipo de camisa. Os motores refrigerados à água utilizam dois tipos de camisas:

Camisa molhada

Sua parede externa tem contato com a água do sistema de arrefecimento. A montagem é realizada sem nenhum ponto de interferência e a vedação externa é realizada por anéis o'ring, que são posicionados, geralmente, na parte superior e inferior da camisa. Após a instalação da camisa, esta fica apoiada no bloco, somente na parte superior. Em alguns motores, a camisa se apóia na região central do bloco (Fig 9.4.1).

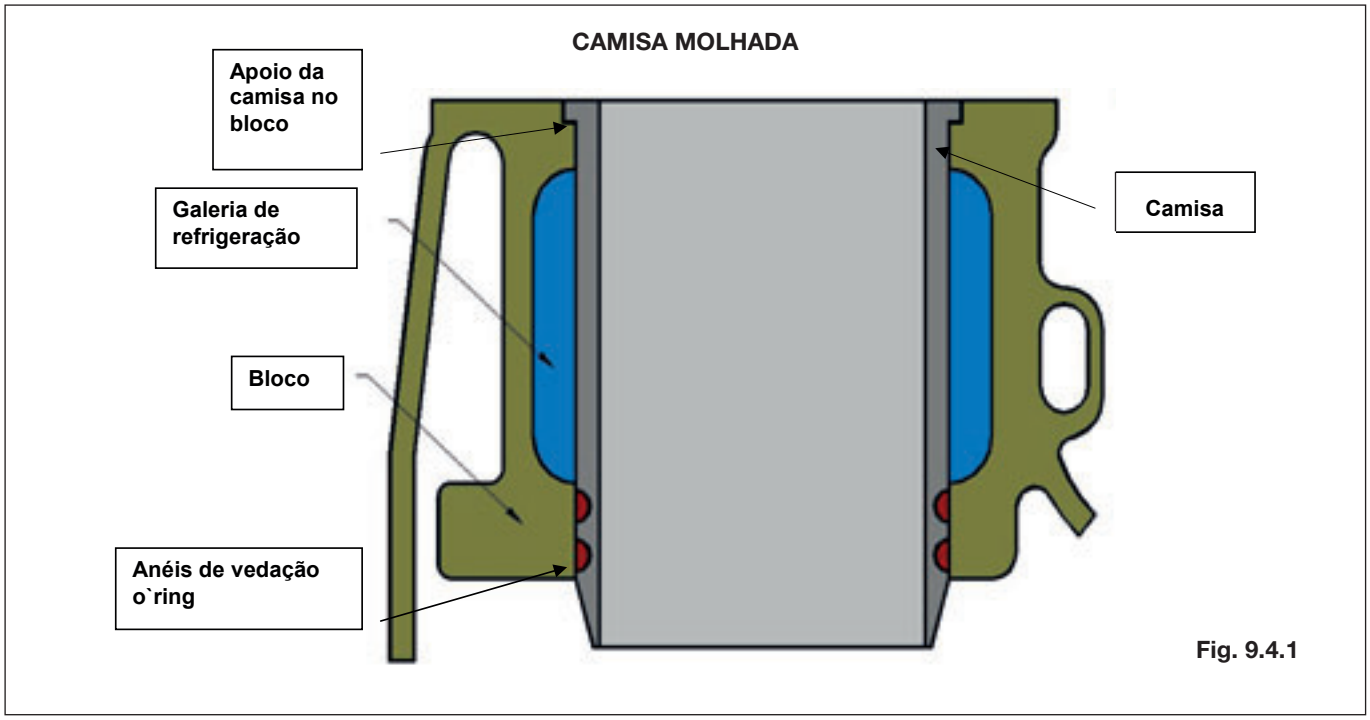


Fig. 9.4.1

Para a instalação de camisa molhada são necessários alguns cuidados. É preciso limpar cuidadosamente o alojamento (colarinho) da camisa no bloco, assim como o alojamento dos anéis de vedação o'ring. Verificar o desgaste e deformação do alojamento, pois o apoio da camisa neste deve ser uniforme. Esta verificação evita que a camisa se deforme e trinque, apresente vazamento ou provoque a queima da junta de cabeçote. Utilizar produtos lubrificantes que não contenham solventes nos anéis o'ring, evitando sua torção ou mesmo seu deslocamento do alojamento durante a instalação da camisa. Conferir a altura da camisa em relação ao bloco, assim como conferir seu diâmetro interno após sua instalação.

Camisa seca

Sua parede externa não tem contato direto com a água. Este tipo de camisa é utilizado normalmente para o reaproveitamento de blocos. Para sua instalação é necessário que exista interferência entre o alojamento no bloco e a superfície externa da camisa. Este tipo de camisa não utiliza anéis o`ring para a vedação, pois não mantém contato com a água do sistema de arrefecimento. Após sua instalação no alojamento, sua fixação se faz através da interferência da parte cilíndrica da camisa com o bloco e, em alguns motores, o apoio também ocorre na parte superior (Fig. 9.4.2).

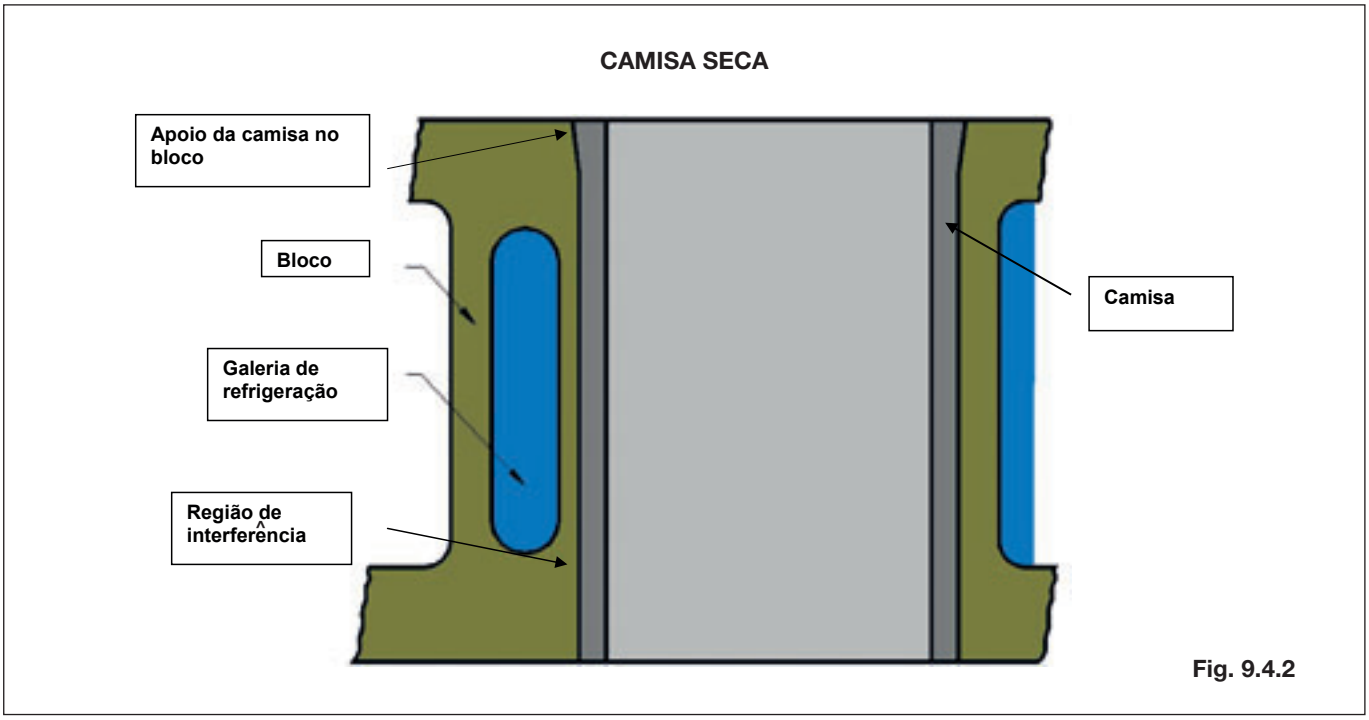


Fig. 9.4.2

Para a instalação da camisa seca também são necessários cuidados, como a retirada de todo o depósito de carvão (age como isolante térmico entre a camisa e o cilindro), brunindo o bloco antes da instalação. Também é preciso verificar as deformações e medidas do alojamento, evitando que haja diminuição da área de apoio da camisa no bloco e comprometimento da troca térmica. Deve-se verificar ainda a existência de trincas no bloco. Durante a instalação, devem-se observar as orientações de carga aplicada na camisa durante a instalação, lubrificação e interferência recomendadas para cada motor.

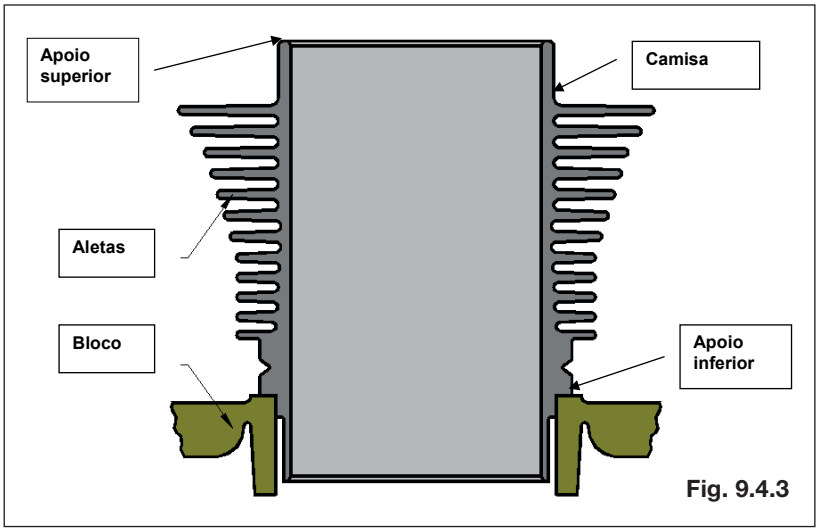


Fig. 9.4.3

Os motores refrigerados a ar utilizam:

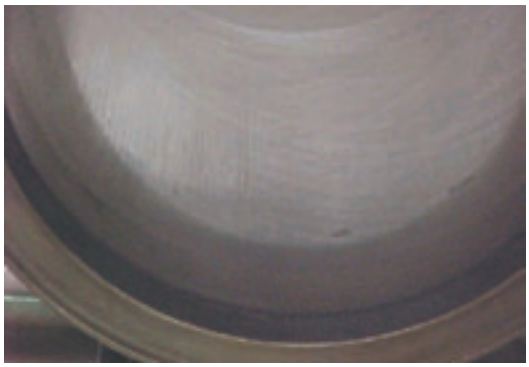
Camisa aletada

Este tipo de camisa contém aletas na parte externa. São montadas sem interferência e não utilizam anéis de vedação. Para a sua montagem, é necessário que na parte inferior se apóie no bloco e na parte superior, no cabeçote. A vedação se faz por estes apoios, portanto não tem interferência com o bloco nem utiliza anéis de vedação. O resfriamento se faz pela passagem do ar pelas aletas (Fig. 9.4.3).

10 — Falhas prematuras em camisas

Características normais de trabalho

As características das camisas apresentadas são as normais de funcionamento, pois o desgaste do brunimento e os possíveis riscos são decorrentes de contaminação por corpo estranho durante o período de sua vida útil.



Camisa com características normais de funcionamento

10.1 — Falhas prematuras em camisas por erros de montagem

10.1.1 Montagem da camisa com cola/adesivo

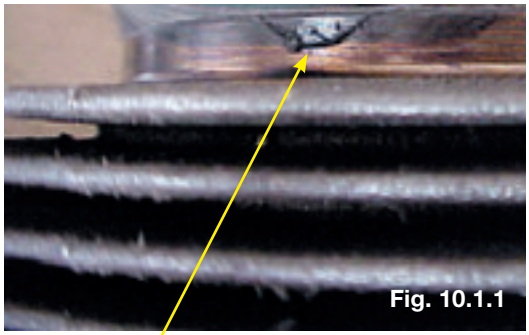
Aspectos

- A aparência visual indica a utilização de cola/adesivo no apoio da camisa no bloco.

Causas

A utilização de cola/adesivo, após a sua secagem, causa deformações não controladas na parede da camisa, podendo comprometer sua vida útil. As conseqüências podem ser:

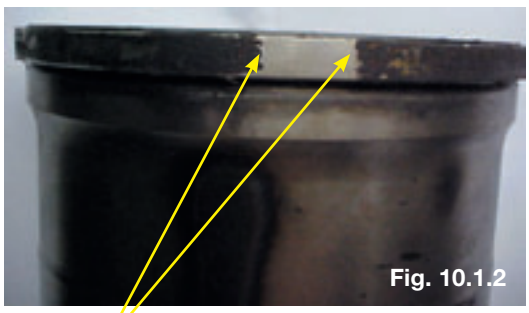
- ovalização;
- deformações localizadas e não controladas, onde não ocorrerá a vedação do anel de compressão ou mesmo a raspagem do óleo lubrificante pelos anéis raspadores;
- deformações localizadas e não controladas que poderão comprometer a folga entre o pistão e a saia, chegando ao engripamento;
- a cola/adesivo pode escorrer e obstruir os canais de lubrificação;
- deficiência de apoio com o cabeçote (falta de perpendicularidade entre o apoio da camisa e o cabeçote).



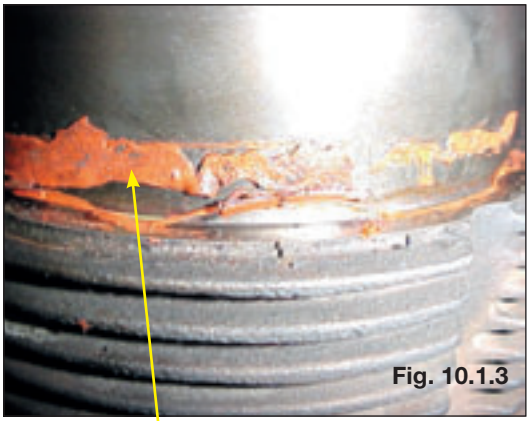
Camisa montada com cola na superfície de apoio com o cabeçote (lado superior da camisa)

Correções

- Seguir corretamente as recomendações da montadora/fabricante quanto à utilização ou não da cola/adesivo.

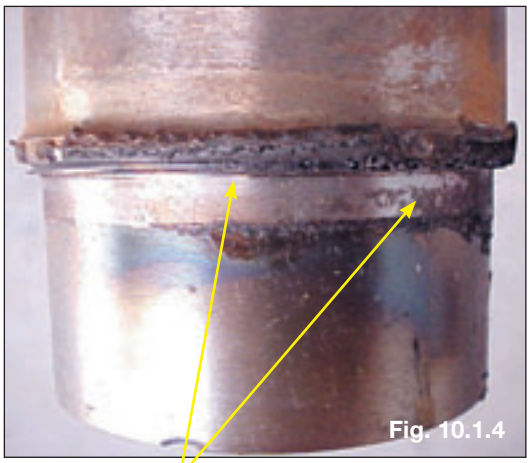


Cola na região do colarinho da camisa

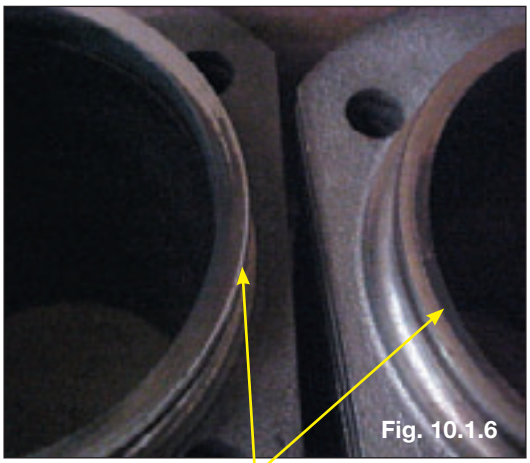


Silicone na base inferior da camisa

Camisa montada com cola na base inferior



Cola na região de apoio da camisa no bloco



Apoio irregular da camisa com o cabeçote

10.2 — Usinagem irregular do bloco e/ou cabeçote

Montagem da camisa com irregularidade do apoio

Aspecto

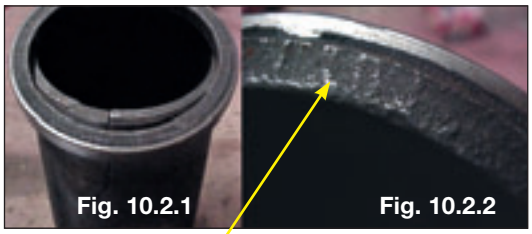
- A camisa apresenta fratura do colarinho e/ou deficiência de vedação com o cabeçote.

Causas

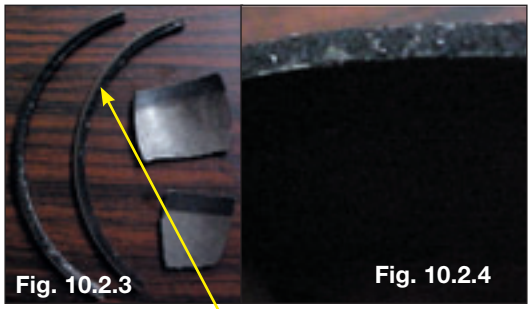
- Tanto em camisa seca como em molhada, é necessário respeitar as recomendações da montadora/fabricante no que se refere ao apoio da camisa no bloco. A existência de irregularidade no apoio faz com que ocorra uma distribuição irregular, em todo o diâmetro da camisa, das tensões criadas em função do torque aplicado nos parafusos de fixação do cabeçote no bloco. Nos motores que trabalham com camisa seca, a pressão aplicada pela prensa acima do recomendado pela montadora/fabricante também provoca a fratura do "colarinho".

Correções

- Manter as dimensões do apoio da camisa no bloco, segundo as recomendações da montadora/fabricante.
- Seguir as recomendações da montadora/fabricante quanto ao procedimento de encamisamento.
- Usinar corretamente o apoio da camisa no cabeçote.
- Rebaixar a altura do cabeçote sem rebaixar o canal de alojamento do apoio da camisa no cabeçote (LIP), por exemplo, o cabeçote do motor Volvo TD-102 FS.

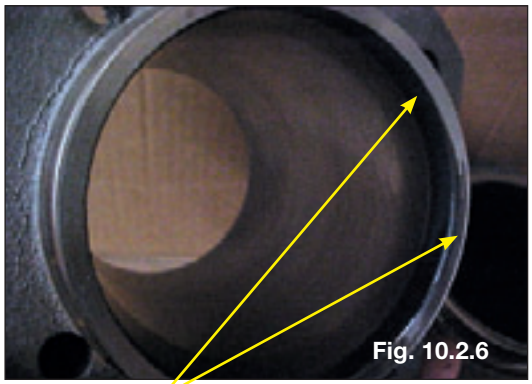


Camisa molhada. Região do colarinho da camisa rompido e carbonizado



Camisa seca. Região do colarinho da camisa carbonizado

Região do colarinho da camisa carbonizado



Apoio irregular entre a parte superior da camisa e o cabeçote

Montagem da camisa com irregularidade do bloco

Aspecto

- Camisa seca com marcas irregulares de contato do lado externo da camisa com o alojamento no bloco. Nos motores que trabalham com camisa molhada, engripamento e/ou deformação na região próxima ao alojamento dos anéis de vedação instalados no bloco.

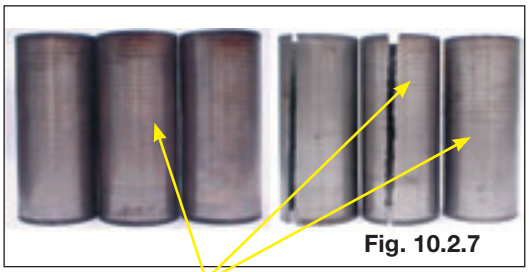
Causas

Nos motores que trabalham com **camisa seca**, as irregularidades existentes no alojamento no bloco, devido à usinagem ou não, podem provocar:

- contato irregular da camisa com o alojamento, comprometendo a troca térmica entre os dois e, conseqüentemente, o engripamento entre o pistão e a camisa;
- o comprometimento da vedação dos anéis de segmento, com possível aumento de consumo de óleo lubrificante ou mesmo aumento de "Blow-by" (passagem dos gases) para o cárter.

Nos motores que trabalham com camisa molhada, as irregularidades no alojamento dos anéis de vedação o'ring ou mesmo o deslocamento do anel durante a instalação da camisa podem provocar:

- comprometimento da folga entre o pistão e a camisa devido à deformação, com possível engripamento iniciando devido ao arraste de material da região da saia do pistão na região onde o anel é instalado no bloco, podendo posteriormente o engripamento se expandir para a região dos anéis. Se necessário,removê-la e reinstalá-la, eliminando deformações excessivas.



Camisa com marcas da usinagem do bloco

Correções

- Usinar o cilindro, seguindo as recomendações da montadora/fabricante que se referem à usinagem.
- Instalar a camisa, tanto seca como molhada, segundo as recomendações da montadora/fabricante.
- Após a instalação da camisa molhada no alojamento, medir o diâmetro interno com equipamento específico e registrar qualquer deformação da camisa.

Marcas escuras no lado externo da camisa, identificando a falta de interferência com o alojamento.

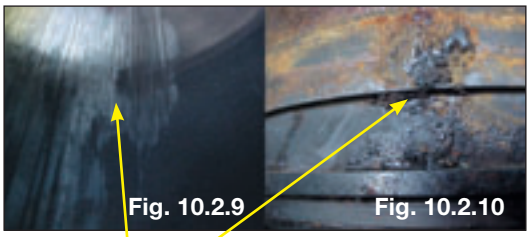


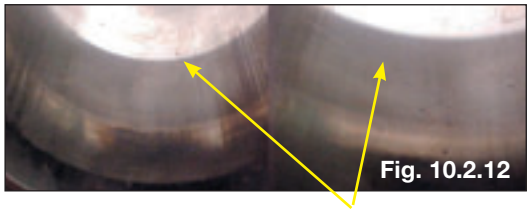
Fig. 10.2.9: Engripamento originado devido ao deslocamento do anel o'ring. Fig. 10.2.10: Impureza no alojamento do anel o'ring na camisa.

Anel o'ring cortado durante a instalação da camisa no bloco

Lubrificação insuficiente / diluição do óleo lubrificante

Aspecto

- A diluição do óleo lubrificante existente na parte interna das camisas faz com que os anéis desgastem prematuramente o brunimento e provoca riscos verticais e marcas de engripamento com arraste de material.



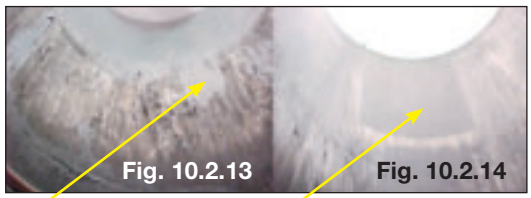
Camisa "espelhada" devido à rotação constante

Causas

- Bomba e bicos injetores com regulagem incorreta.
- Turbina.
- Projeção incorreta dos bicos injetores em relação ao cabeçote.
- Ponto incorreto de injeção/ignição.
- Comando torcido ou com os cames compro--metidos.
- Carburador com regulagem incorreta.
- Amaciamento incorreto do motor.

Correções

- Regular bomba e bicos injetores, segundo recomendações da montadora/fabricante.
- Manter o ponto de injeção correto.
- Conferir o comando e os cames.
- Regular corretamente o carburador.
- Aplicar corretamente os componentes internos (pistões, camisas e anéis).
- Evitar rotações constantes do motor durante o período de amaciamento.



Engripamento originado pela diluição do óleo lubrificante existente na parede do cilindro

10.3 — Outros fatores

Corrosão – escamas – cavitação

Aspecto

- Pequenos furos e/ou formação de escamas.

Causas

- **Corrosão eletrolítica ou eletrólise –** Resulta da decomposição química do metal devido à ação de pequenas correntes elétricas, que surgem quando dois metais diferentes, como o ferro e o cobre, entram em contato com a água. Esta corrente elétrica, apesar de fraca, com o tempo acaba atacando as paredes externas da camisa. Nos motores modernos, utiliza-se, abaixo do colarinho da camisa, um anel de latão, para que esta eletricidade passe para o bloco e deste para o chassi, através de um cabo-terra.

- **Corrosão química –** É resultado, principalmente, do ataque do oxigênio presente na água ao ferro, de que são construídas as camisas, dando origem ao óxido de ferro ou à ferrugem. Este fenômeno é acelerado quando há maior presença de oxigênio na água, devido a falhas na vedação do sistema de arrefecimento, podendo haver penetração de ar através das mangueiras, conexões, tampas defeituosas, baixo nível de água, entre outros. A corrosão química também é acelerada por utilização de água não tratada,com presença de substâncias corrosivas, como a água ácida ou alcalina, ou ainda pela falta dos inibidores de corrosão recomendados pela montadora/fabricante do motor.

- **Formação de escamas –** Estas escamas se formam devido a minerais contidos na água não tratada para o sistema de arrefecimento, que vão se depositando por sobre as paredes externas dos cilindros, quando aquecidos. As escamas acabam por formar uma barreira térmica que dificulta a transferência de calor, criando os chamados pontos quentes, causadores de escoriações, desgastes na parede interna dos cilindros e engripamento dos anéis e pistões.

- **Cavitação –** As camisas, durante o funcionamento do motor, são submetidas a pulsações que são conseqüência da combustão e mistura ar/combustível no seu interior. Assim, quando ocorre a combustão, ocorre também a expansão da parede da camisa em frações de milímetro, devido à força dos gases em expansão contra as paredes internas. Após passada a expansão dos gases, as paredes do cilindro voltam às suas dimensões normais. Esta volta ocorre em um espaço de tempo muito curto: a água do sistema não tem tempo suficiente para preencher de imediato o espaço criado, originando minúsculas bolhas de vácuo que, ao implodirem junto à parede da camisa, arrancam-lhe pequenas partículas de metal, perfurando-a.

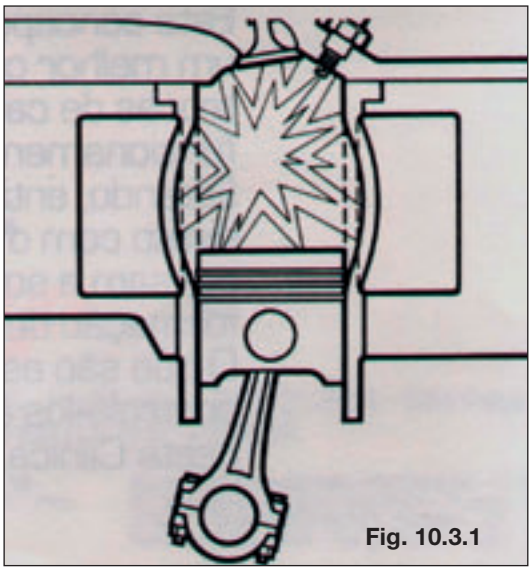


Fig. 10.3.1

Camisa em fase de expansão

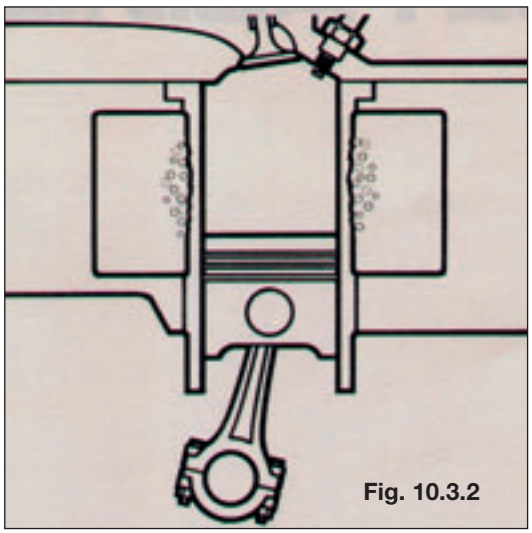


Fig. 10.3.2

Bolhas ao redor da camisa

Correções

- Manter, em condições normais de funcionamento e compatíveis com o projeto do motor, todos os componentes do sistema de arrefecimento (tampa do reservatório e/ou radiador, mangueiras e mangotes, válvula termostática, válvula pressostática, bomba d'água, etc.).
- Utilizar sempre os aditivos inibidores de corrosão e anticongelantes, recomendados pela montadora/fabricante do motor.
- Manter o nível de água do reservatório e/ou radiador. Quando houver necessidade de completar o nível de água do sistema, seguir as recomendações da montadora/fabricante quanto à quantidade de aditivo a ser utilizado.
- Montar o motor, seguindo as recomendações da montadora/fabricante, quanto à alteração em pistões, sistema de injeção ou mesmo através de qualquer outro artifício.

Fig. 10.3.5

Cavitação sem corrosão

Fig. 10.3.3

Cavitação e escamas

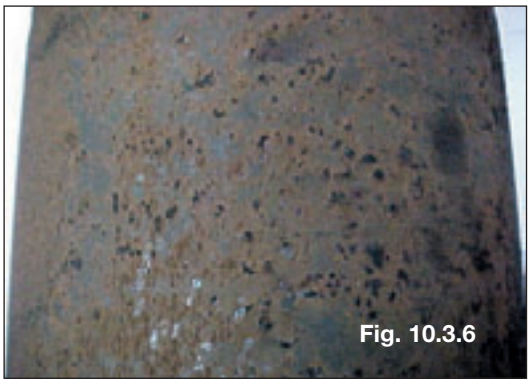


Fig. 10.3.6

Escamas

Fig. 10.3.4

Cavitação

Fig. 10.3.7

Cavitação

Expulsão da trava

Aspecto

- A camisa apresenta marca interna provocada pelo contato com o pino.

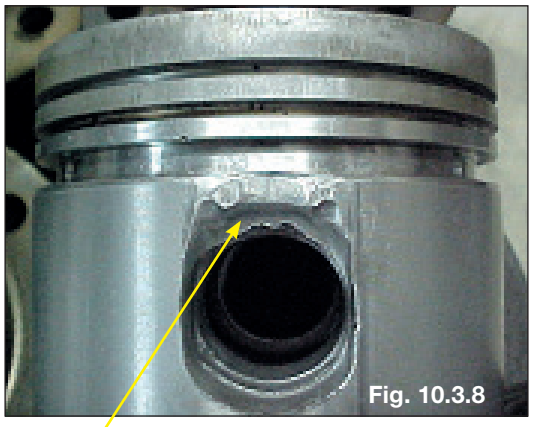
Causas

- Falta de paralelismo entre o centro do alojamento da bucha de biela e o centro do alojamento da bronzina na biela.
- Biela empenada e/ou torcida.
- Embielamento incorreto.
- Posicionamento incorreto do anel trava no alojamento.
- Conicidade do colo de biela do eixo virabrequim.

Estes fatores fazem com que ocorra desalinhamento, seja criada uma força lateral e que a biela "empurre" o pino contra o anel trava. Quando o anel trava for expulso, o pino se deslocará até ter apoio na camisa. O anel trava expulso, com o movimento vertical de subida e descida do pistão, provocará desgaste da região (alumínio) até que consiga sair.

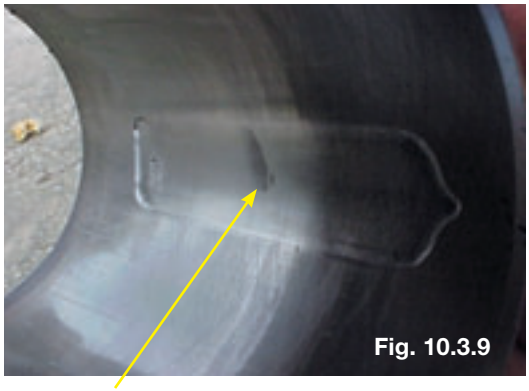
Correções

- Manter o paralelismo entre o centro do alojamento da bucha e o centro do alojamento da bronzina na biela;
- Embielar o pistão, segundo a recomendação da montadora/fabricante;
- Instalar e posicionar corretamente o anel trava no alojamento;
- Retificar o eixo virabrequim e manter os colos dentro dos padrões recomendados pela montadora/fabricante.



Desgaste do pistão na região do cubo e topo provocado pela trava

Contaminação por abrasivo



Marca provocada pelo deslocamento do pino após a expulsão da trava

Aspecto

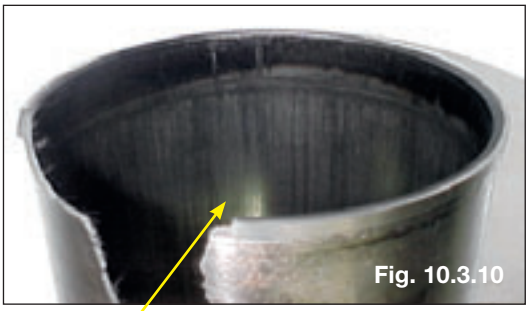
- A camisa apresenta desgaste excessivo na região superior.

Causas

- Filtro de ar obstruído e/ou danificado, ou válvula de segurança inoperante.
- Mangueira e/ou mangote de admissão de ar danificados.
- Limpeza incorreta dos cilindros quando da montagem do motor.
- Alojamento do filtro de ar deformado ou amassado e com má vedação.

Correções

- Substituir sempre o filtro, segundo a recomendação da montadora/fabricante quanto à sua manutenção.
- Inspecionar periodicamente os mangotes e as mangueiras de ar.
- Efetuar a limpeza correta dos cilindros.



Desgaste e risco provocados por partículas sólidas admitidas para dentro do cilindro

BRONZINAS

11 — Bronzinas

11.1 — Objetivos e princípios de funcionamento

Funções da bronzina

A função principal de uma bronzina é reduzir o atrito entre uma parte móvel de um motor e a parte estática a ela ligada. Além disso, ela deve suportar a parte móvel. Esta última função exige que a bronzina resista a cargas muito altas, particularmente, cargas de alto impacto causadas pela combustão que ocorre no motor.

A capacidade de uma bronzina de reduzir o atrito está baseada no fenômeno de que dois materiais não similares, deslizando um contra o outro, apresentam atrito e desgaste menores, quando comparados ao caso de materiais similares (materiais com dureza da mesma ordem de grandeza).

Portanto, ligas de alguns metais, tais como cobre, estanho, chumbo ou alumínio, apresentam um melhor desempenho ao suportar uma parte móvel de aço, do que aquele apresentado por um alojamento de aço ou ferro fundido.

Embora uma bronzina possa realizar sozinha essa função de redução de atrito, seu desempenho é enormemente melhorado pela adição de um lubrificante entre a parte móvel e a superfície interna da bronzina. Por isso, um dos objetivos principais do projeto de uma bronzina é estabelecer e manter um filme de óleo entre essas superfícies, geralmente sob cargas variáveis. Um pequeno desgaste ocorre quando o motor funciona, mesmo quando bronzinas do projeto mais avançado são instaladas em um novo modelo de motor altamente eficiente.

As duas causas principais desse fato são:

1) o filme de óleo lubrificante torna-se muito fino ou desaparece inteiramente por um curto período de tempo sob certas condições de operação, por exemplo, no instante da partida do motor;

2) partículas estranhas, misturadas ao óleo lubrificante, passam pela bronzina.

Este desgaste pode ser assumido pela bronzina, pelo eixo ou por ambos.

O reparo ou a substituição de partes do motor, tais como virabrequim e eixo comando, é caro. Por essa razão é que as bronzinas são projetadas e fabricadas para assumir o desgaste produzido pelo atrito, protegendo dessa forma as partes mais caras do motor.

Por isso é que as bronzinas devem ser substituídas. Portanto, um dos objetivos do projeto de bronzinas modernas é permitir que essa substituição se faça fácil e corretamente. A nova bronzina a ser instalada, quando devidamente selecionada e colocada, atenderá normalmente às especificações de durabilidade da montagem original.

Apesar dos fabricantes continuarem a se esforçar para tornar a substituição de bronzinas tão segura quanto possível, é preciso uma certa parcela de conhecimento para realizar essa tarefa.

Princípios básicos do atrito

Um entendimento sobre bronzinas não pode ser completo sem uma boa compreensão do atrito. Embora todos já tenham conhecimento dos resultados do atrito, somente algumas pessoas conheceram suas causas.

Em primeiro lugar, deve-se examinar a superfície lisa de uma peça de metal sob um microscópio.

Como se vê na Figura 11.1.1, ela não é muito lisa, pois parece mais o relevo de uma cadeia de montanhas (picos e vales). Na Figura 11.1.2 podemos observar as superfícies de duas peças metálicas quando em contato.

Fig.11.1.1

Em seguida, aplica-se uma carga a uma das peças de metal. Visto que a área de contato dos picos é muito pequena, mesmo uma carga de poucos quilos provoca pressões muito elevadas nesses pontos. O resultado é que os poucos pontos de contato ficam sobrecarregados.

Agora, faz-se deslizar uma superfície sobre a outra. Como mostra a Figura 11.1.4, esse movimento quebra os minúsculos pontos de contato e deforma os picos, estabelecendo uma resistência ao movimento de deslizamento, assim como a geração de calor considerável.

Além disso, os picos quebrados criam um composto agressivo que tende a desgastar as superfícies.

O que se discutiu até aqui é típico do atrito desenvolvido entre duas peças do mesmo metal. Contudo, grande parte dessa ação é minimizada, se uma peça é de metal duro e a outra, de metal mole. Com base neste conceito é que a maior parte das bronzinas é projetada. A superfície destas é recoberta com uma fina camada de algum metal de baixa dureza, especial para a sua fabricação.

Um desses materiais é uma liga de estanho e chumbo, chamada Babbitt (metal branco). As propriedades dessa liga são tais que um eixo de aço, girando sobre uma bronzina cuja superfície é Babbitt, fica sujeito a um atrito inferior aproximadamente igual à metade daquele que seria produzido se o material fosse ferro fundido ou metal semelhante.

Outros materiais serão discutidos no item “Materiais para Bronzinas”.

Fig. 11.1.2 **Secção de duas superfícies de metal em contato**

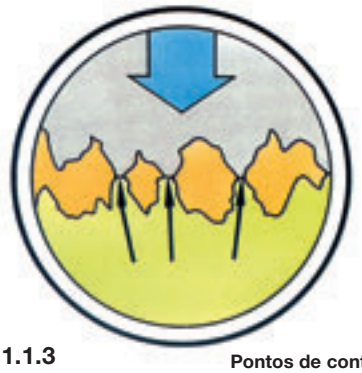


Fig. 11.1.3 **Pontos de contato das superfícies sob carga**

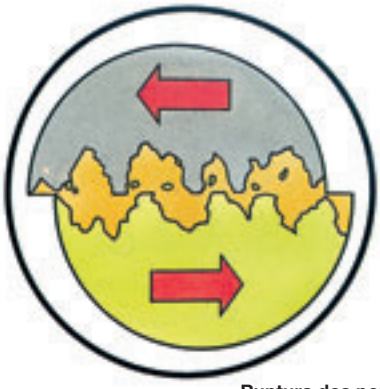


Fig. 11.1.4 **Ruptura dos pontos de contato devido ao movimento relativo das partes**

Os estudos visando a redução do atrito não param no material da bronzina: a sua lubrificação é um fator vital.

Um filme de óleo entre as duas superfícies de metal em contato tem duas características importantes:

I — as moléculas de óleo tendem a deslizar mais livremente umas sobre as outras;

II — as moléculas de óleo aderem mais firmemente sobre as superfícies do metal, do que uma sobre as outras.

A Figura 11.1.5 mostra o fenômeno. A camada superior das moléculas de óleo adere à superfície do metal em movimento e move-se com ela. Dessa forma, ela se desloca sobre a segunda camada de moléculas de óleo, aplicando um esforço que faz esta camada mover-se também, porém numa proporção menor. Do mesmo modo, esta segunda camada desloca-se sobre a terceira e a arrasta numa velocidade bem menor. Isso continua a ocorrer através de todas as camadas de óleo subseqüentes até a camada mais inferior, que permanece estática, grudada na superfície da peça de metal parada. Essa ação reduz o atrito a um valor bastante inferior àquele atingido pelas duas superfícies de metal, quando não existe o filme de óleo.

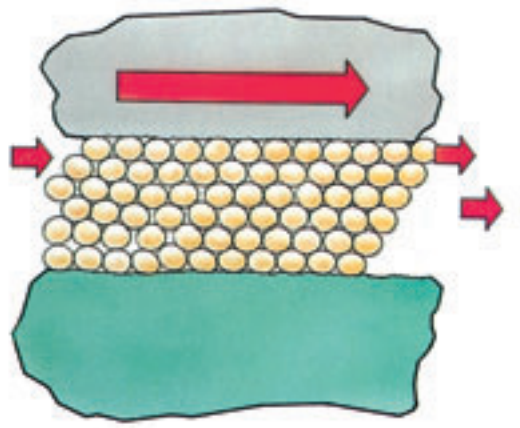


Fig. 11.1.5

11.2 — Nomenclatura da bronzina

No sentido de se obter uma maior padronização no uso das denominações das diversas partes componentes da bronzina, apresentamos na Figura 11.2.1 a nomenclatura adotada.

NOMENCLATURA DA BRONZINA

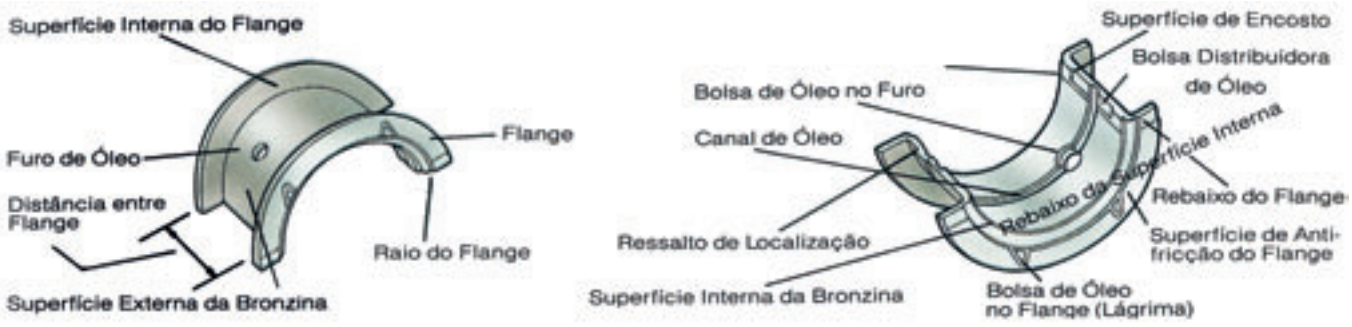


Fig. 11.2.1

11.3 — Tecnologia de bronzinas

Para desempenhar perfeitamente suas funções, uma bronzina deve permanecer fixa em seu alojamento. Toda sua superfície exterior deve estar em contato com a superfície do alojamento, para permitir que a dissipação do calor seja perfeita. No seu projeto também são levados em consideração outros fatores que descreveremos a seguir.

Dimensão livre

Todas as bronzinas são fabricadas com determinada dimensão livre. Isto quer dizer que a distância entre as bordas exteriores da bronzina é um pouco maior que o diâmetro do alojamento (Fig. 11.3.1). A dimensão livre faz com que a bronzina se ajuste sob pressão no alojamento, o que ajuda a mantê-la em seu lugar durante a montagem (Fig. 11.3.2).

Altura de encosto

Quando se introduz uma bronzina sob pressão (com os dedos) em seu alojamento, suas bordas superiores sobressaem ligeiramente do alojamento. Isso indica que a bronzina é um pouco maior do que a semicircunferência do alojamento. Essa saliência acima da linha de partição do alojamento é denominada pré-carga da bronzina (Fig.11.3.3).

Quando se apertam os parafusos das capas dos mancais com as bronzinas colocadas, as faces de partição vão se aproximando uma da outra até ocorrer o contato. Nesse momento se cria uma pressão radial que aperta as bronzinas contra o seu alojamento, garantindo um contato completo entre a parte externa da bronzina e o alojamento desta (Fig.11.3.4).

Ressalto de localização da bronzina

O ressalto de localização é o dispositivo mais simples e efetivo para posicionar a bronzina, enquanto se apertam os parafusos dos mancais. O ressalto se projeta para fora na linha de separação da bronzina e encaixa suavemente na ranhura existente no alojamento, eliminando a possibilidade de movimento durante a operação de montagem do motor (Fig.11.3.5).

Em alguns casos usam-se outros dispositivos para posicionamento da bronzina. Um deles é o botão (Fig. 11.3.6).

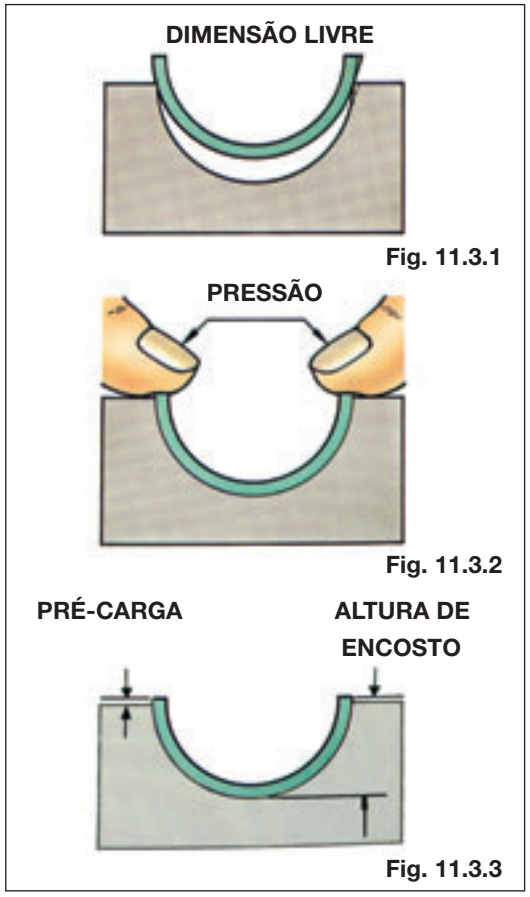


Fig. 11.3.1

Fig. 11.3.2

Fig. 11.3.3

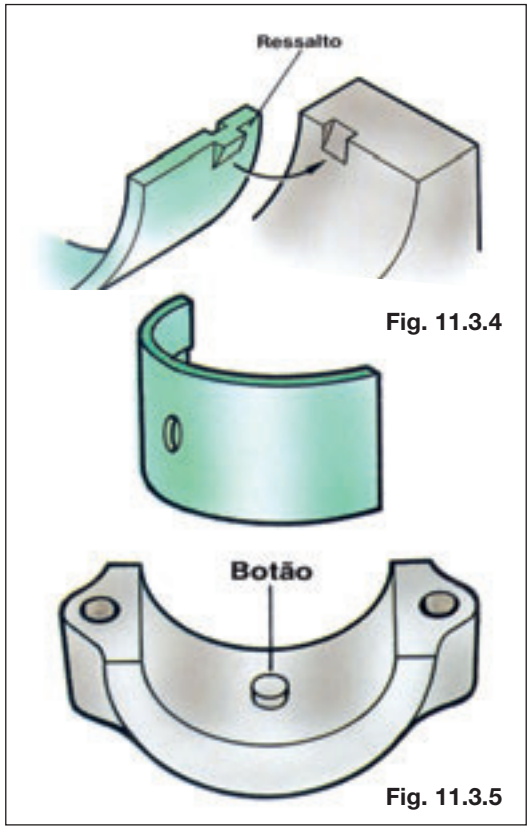


Fig. 11.3.4

Fig. 11.3.5

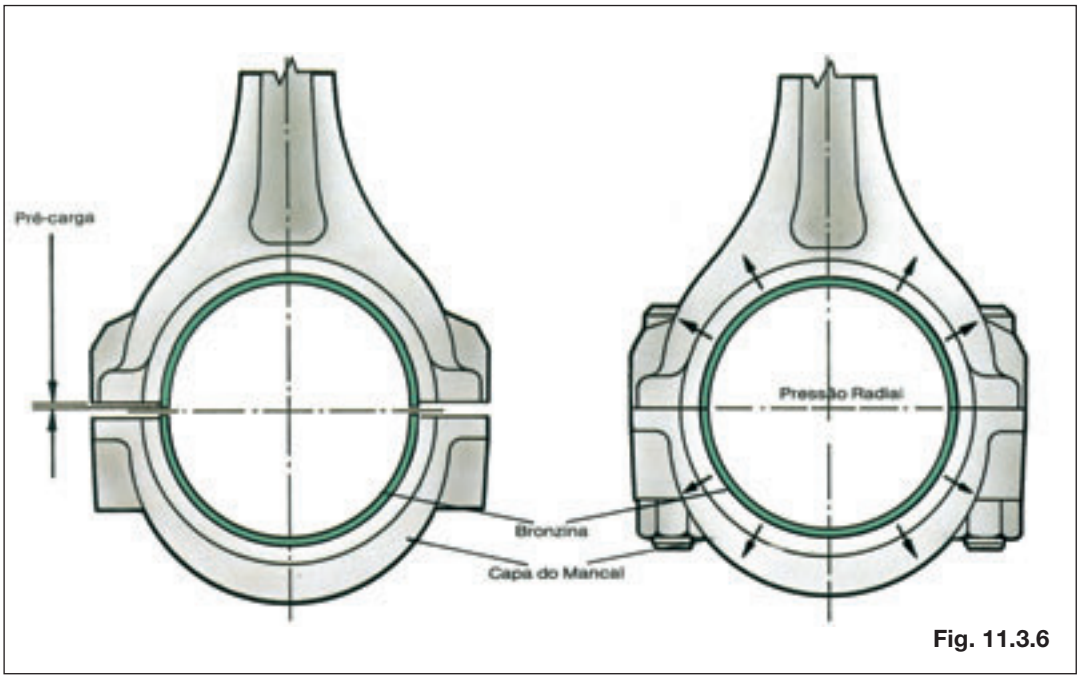


Fig. 11.3.6

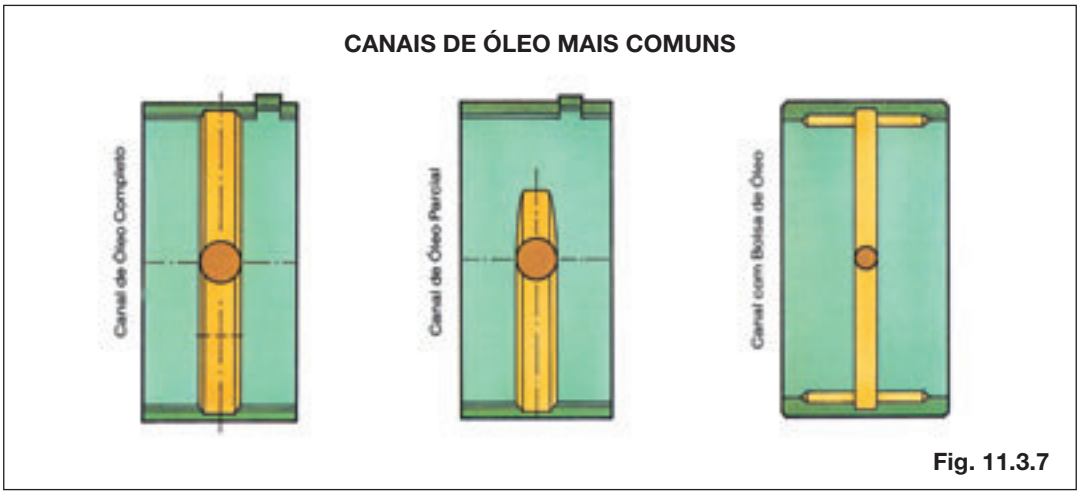


Fig. 11.3.7

Canais de óleo

Os canais de óleo servem para distribuir o líquido de lubrificação sobre toda a superfície da bronzina e do eixo, o qual faz com que se forme uma película lubrificante, capaz de suportar as cargas impostas ao mancal.

Algumas bronzinas são projetadas com um canal de óleo, que as circunda ao longo de sua circunferência interna. Estes canais também servem, em parte, como condutos para permitir a passagem do óleo para outras partes do motor (Fig.11.3.7).

A disposição dos canais de óleo é um dos itens de projeto do fabricante de bronzinas em função das características de lubrificação do motor.

Neste manual só o mencionamos com o objetivo de que o leitor se familiarize com os diversos propósitos dos diferentes tipos de canais.

Excentricidade das bronzinas

Procura-se projetar as bronzinas de forma a proporcionar a maior espessura possível do filme de óleo compatível com as características do sistema de lubrificação do motor.

As formas de muitas bronzinas, quando montadas, não são rigorosamente cilíndricas no diâmetro interno, sendo fabricadas com ligeira excentricidade. Isto origina uma folga horizontal maior que a vertical, a fim de auxiliar a rápida formação da cunha de óleo lubrificante, evitando desta maneira o contato

EXCENTRICIDADE EM BRONZINAS

Fig. 11.3.8

metal-metal ao se iniciar o movimento de rotação do virabrequim.

Esta excentricidade serve também para compensar a eventual deformação do alojamento, que iria afetar a folga.

As bronzinas excêntricas apresentam uma redução gradativa da espessura da parede (X), que diminui a partir da linha de centro. A excentricidade deve ser medida a uma altura (Y) que está localizada a aproximadamente 40º da linha de partição (Fig. 11.3.8).

Pode-se recorrer a um maior fluxo de óleo, fazendo-se chanfros e bolsas na superfície interna da bronzina, próximo à linha de partição, os quais, elevando o custo de fabricação, só devem ser utilizados em casos de necessidade.

Materiais para bronzinas

Propriedades

Como estabelecido no item relativo a **Objetivos e Princípio de Funcionamento**, a função de uma bronzina é reduzir o atrito entre a parte móvel de um motor e a parte de suporte a ela associada. Dessa definição, alguém poderia considerar que a única exigência para o material da bronzina seria ter uma boa qualidade de deslizamento. Apesar do deslizamento ser uma característica importante do seu material, ela está longe de ser a única exigência. Há pelo menos seis outras características necessárias para a mesma funcionar de forma apropriada.

As propriedades dos materiais de bronzina são as seguintes:

- resistência à fadiga;
- conformabilidade;
- incrustabilidade;
- deslizamento (ação de superfície);
- resistência à corrosão;
- resistência a altas temperaturas;
- condutividade térmica.

Resistência à fadiga

É a propriedade do material para bronzina de resistir à carga intermitente que é aplicada sobre ela por um espaço de tempo especificado. Os diversos materiais de bronzinas têm capacidades diferentes para resistir a essas cargas sem se deteriorarem. Essa característica é às vezes definida como o máximo esforço ou carga em MPa ou N/cm^2 ou kgf/cm^2, para uma vida especificada em horas de operação.

Conformabilidade

É a propriedade do material de bronzina que confere a esta a característica de assumir a forma do alojamento e/ou colos.

Incrustabilidade (embedabilidade ou absorção)

É a propriedade do material para bronzina de absorver partículas sólidas estranhas, que poderiam vir a riscar o eixo que a bronzina está suportando. Em outras palavras, o material de bronzina deve ser suficientemente capaz de permitir que essas partículas fiquem incrustadas na superfície da peça.

Deslizamento (ação de superfície)

É a propriedade do material de bronzina de resistir ao arraste que poderia ocorrer entre bronzina e eixo, quando entram em contato direto, durante a operação do motor.

Resistência à corrosão

É a propriedade do material de bronzina de resistir à corrosão química, tal como a causada pelos ácidos que se formam na reação dos produtos de combustão.

Resistência a altas temperaturas

É a propriedade do material de bronzina de suportar altas temperaturas de operação do motor, sem que este perca as características responsáveis pela capacidade de carga e/ou ação de superfície.

Condutividade térmica

É a propriedade do material de absorver e transferir calor da superfície interna da bronzina para o alojamento. Esta característica é importante porque a bronzina se comporta melhor quanto menor for a sua temperatura de operação.

Sistemas de fabricação do material de bronzina

A maioria das bronzinas em uso hoje são compostas de várias camadas. A Figura 11.3.9 mostra uma bronzina com duas camadas, chamada de bimetálica, sendo composta por uma capa de aço e por uma camada de material anti-fricção. Alguns projetos incorporam uma terceira camada que é um revestimento sobre o material anti-fricção da bronzina. O material da camada de revestimento, porém, é diferente do usado na camada antifricção. Este tipo é chamado de bronzina trimetálica.

Escolha do material

Existem diversos materiais e combinações de materiais que podem ser usados na fabricação de uma bronzina. Cada um deles apresenta combinação diferente dessas sete propriedades discutidas. Por exemplo, um material “A” pode apresentar um bom deslizamento, mas baixa resistência à fadiga, enquanto que um material “B” pode ter boas qualidades de resistência ao calor e ao desgaste, mas ser muito limitada a sua capacidade de deslizamento (ação de superfície). A seleção do material para qualquer bronzina depende da aplicação que se quer dar para ela. A razão para isso torna-se evidente quando examinamos os exemplos de aplicação seguintes:

APLICAÇÃO DA BRONZINA	PROPRIEDADE PRINCIPAL DA BRONZINA
Serviço pesado em estradas	Resistência à fadiga
Pequenos tratores e equip. agrícolas	Absorção
Bombas de irrigação e mot. marítimos	Resistência à temperatura

É óbvio, então, que nenhum material de bronzina é o melhor indicado para todas as aplicações. Em vista disso, os fabricantes de bronzinas desenvolvem uma ampla variedade de materiais para atender às necessidades específicas de cada motor.

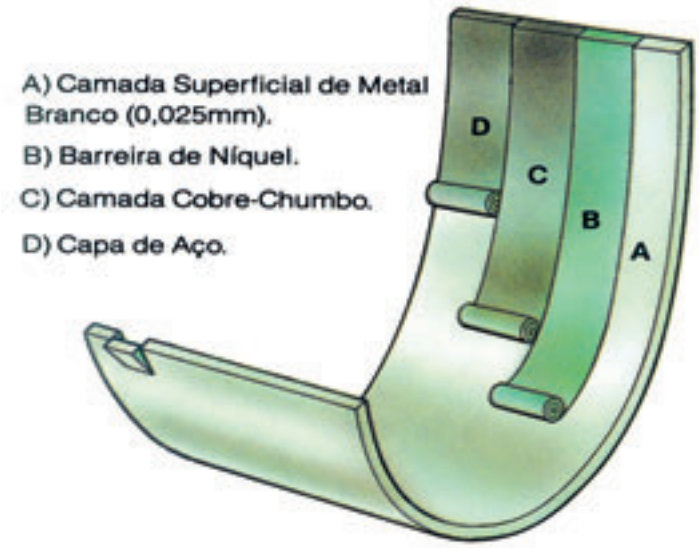


Fig. 11.3.9

11.4 — Tipos de bronzinas

Tipos de bronzinas quanto ao material empregado

As bronzinas, quanto ao material empregado na sua fabricação, podem ser classificadas nos seguintes tipos principais:

I — Babbitt

- Babbitt
- Micro-Babbitt

II — Cobre-chumbo sinterizada

- Bimetálicas de cobre-chumbo-estanho (Cu-Pb-Sn) sinterizadas (sem camada de revestimento).
- Trimetálicas de cobre-chumbo-estanho (Cu-Pb-Sn) sinterizadas (com camada de revestimento eletrodepositada) de cobre-chumbo-estanho (Cu-Pb-Sn).

III — Cobre-chumbo fundidas

- Bimetálicas de cobre-chumbo-estanho (Cu-Pb-Sn) fundidas (sem camada de revestimento).
- Trimetálicas de cobre-chumbo-estanho (Cu-Pb-Sn) fundidas (com camada de revestimento eletrodepositada) de cobre-chumbo-estanho (Cu-Pb-Sn).

IV — Alumínio

- Alumínio sólido (com camada de revestimento de chumbo-estanho [Pb-Sn] eletrodepositada).
- Bimetálicas de alumínio.
- Trimetálicas de alumínio.

V — Cobre-estanho com PTFE

- Cobre-estanho (Cu-Sn) impregnado com politetrafluoretileno (PTFE) e lubrificante sólido (20% Pb).

Principais características das ligas

Apresentaremos, a seguir, uma descrição das principais características das ligas de bronzina.

I. Ligas de babbitt

Babbitt

Com este material, obtém-se boa conformabilidade, incrustabilidade, deslizamento (ação de superfície) e resistência à corrosão, mas baixa resistência à fadiga.

Micro-babbitt

Com este material obtém-se bronzinas com melhor resistência à fadiga, bom deslizamento (ação de superfície) e boa resistência à corrosão, mas conformabilidade e incrustabilidade menores que com a Babbitt.

O efeito da espessura de Babbitt na vida da bronzina é aumentá-la rapidamente, quando esta espessura diminui para menos de 0,356 mm (0,014 in) (Fig. 11.4.1).

As bronzinas de Babbitt que podem trabalhar com cargas de até 130 kgf/cm^2 deram origem às chamadas bronzinas “micro”, em que a espessura da camada de metal branco foi reduzida de 0,5 mm, da bronzina normal, para cerca de 0,1 mm, a fim de aproveitar o aumento de resistência à fadiga, com diminuição da espessura da camada de metal branco, e que pode chegar a até 70%. Nas bronzinas “micro” podemos chegar a até cerca de 190 kgf/cm^2 (Fig. 11.4.2).

Naturalmente, se as bronzinas convencionais, devido ao acabamento superficial com rugosidade extremamente baixa, já não admitem qualquer modificação ou “adaptação”, nas micros, até o simples rasqueteamento poderá ser suficiente para eliminar a camada antifricção.

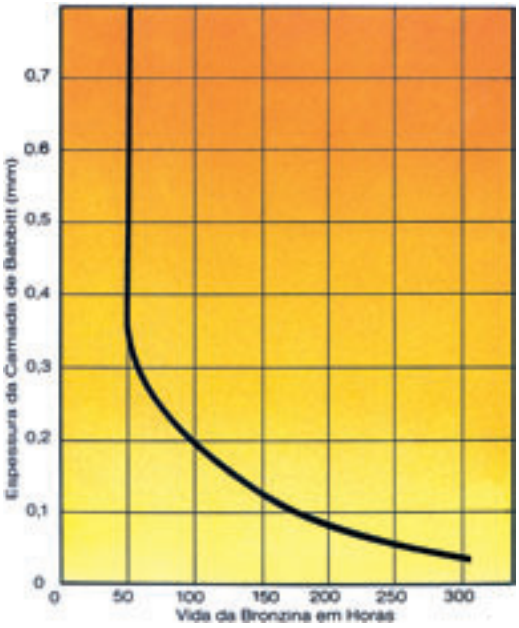


Fig. 11.4.1

DIFERENÇAS ENTRE AS CARGAS SUPORTADAS PELA BRONZINA NORMAL E PELA "MICRO"

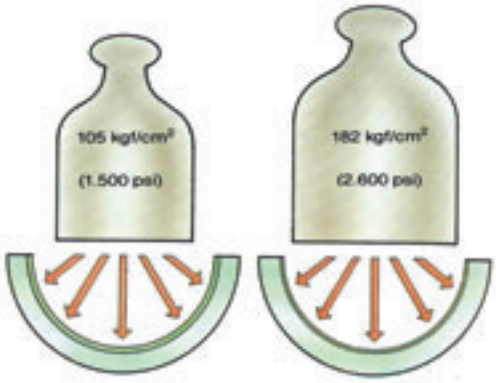


Fig. 11.4.2

II. Ligas de cobre-chumbo-estanho sinterizadas

Bimetálicas

A técnica de sinterização usada para produzir bronzinas de liga de cobre é um processo em tira contínua. Um pó de cobre-chumbo-estanho pré-ligado é aplicado uniformemente de maneira contínua, com uma espessura predeterminada, dependendo da bronzina a ser produzida, sobre uma tira de aço em movimento. Para ligar as partículas de pó metálico umas às outras é aplicado calor em forno contínuo com atmosfera controlada (sinterização).

O chumbo funde no interior do forno e ocupa parte dos espaços entre as partículas ligadas por sinterização. A seguir o material sofre uma laminação, fechando-se a porosidade restante e existente entre as partículas sinterizadas. Materiais produzidos por este processo são geralmente de um teor de cobre elevado (70 a 80%).

Trimetálicas

Têm uma camada de revestimento de estanho-chumbo ou cobre-estanho-chumbo eletrodepositada com uma espessura aproximada de 0,025 mm (0,001 in).

Elas são particularmente convenientes para aplicações automotivas, apresentando bom desempenho nas áreas de resistência à carga mais elevada, boa conformabilidade e incrustabilidade, assim como bom deslizamento e resistência à corrosão maior do que o material cobre-chumbo sinterizado sem camada de revestimento.

III. Ligas de cobre-chumbo fundidas

Bimetálicas

Neste processo, os metais básicos a serem usados são inicialmente aquecidos até a fusão. A liga líquida é então aplicada continuamente sobre uma tira de aço e a seguir solidificada através de resfriamento por óleo e água.

Trimetálicas

Têm uma camada de revestimento de cobre-estanho-chumbo eletrodepositada com espessura de 0,025 mm (0,001 in). As bronzinas com este material são especialmente indicadas para aplicações em serviços pesados. Elas apresentam ótima resistência à fadiga, boa conformabilidade e bom deslizamento (ação de superfície), além de excelente resistência à corrosão, especialmente em altas temperaturas. Algumas bronzinas são projetadas com o mesmo revestimento eletrodepositado de 0,013 mm (0,0005 in), para proporcionar maior resistência à fadiga e aumentar a capacidade de carga.

Nas bronzinas trimetálicas sinterizadas ou fundidas, há tendência do estanho da camada superficial migrar para o cobre, enfraquecendo a resistência à corrosão destas.

Nestas bronzinas, uma camada finíssima de níquel, depositada eletroliticamente, impede este empobrecimento em estanho da camada superficial.

A micrografia da camada antifricção da bronzina mostra nitidamente a finíssima, mas importante, barreira de níquel (Figs. 11.4.3 e 11.4.4).

É interessante observar, também, a importância do teor de cobre, que deve ter a liga branca eletrodepositada na superfície (Fig. 11.4.4).

IV — Ligas de alumínio

Ligas de alumínio sólido

As bronzinas de alumínio-silício surgiram muitos anos após considerável pesquisa de ligas de alumínio. Isso resultou no desenvolvimento de uma liga fundida de estanho, cobre, níquel e alumínio (ML-83).

Geralmente as bronzinas feitas com esse material não têm capa de aço e são conhecidas como bronzinas de alumínio sólido. O alumínio apresenta a característica particular de ter um coeficiente de expansão térmica aproximadamente duas vezes maior do que a do aço ou a do ferro. Esta peculiaridade apresenta problemas no projeto das bronzinas e, como conseqüência, elas devem ser montadas com uma folga maior para compensar essa característica. Paralelamente, devem ser fabricadas com espessura de parede mais grossa, a fim de manter a capacidade de carga.

Conseqüentemente, as bronzinas de alumínio sólido não podem ser usadas nos motores em que os diâmetros do alojamento (mancal) e do virabrequim exigem uma parede fina.

Normalmente, as bronzinas de alumínio sólido são fabricadas com uma camada de revestimento de estanho-chumbo eletrodepositada.

Bimetálicas de alumínio

São empregadas com diversas ligas diferentes de alumínio em tiras, unidas à capa de aço e são geralmente de parede fina. As ligas de alumínio usadas nas bronzinas bimetálicas são: alumínio-estanho (Al-Sn), alumínio-silício-cádmio (Al-Si-Cd), alumí-

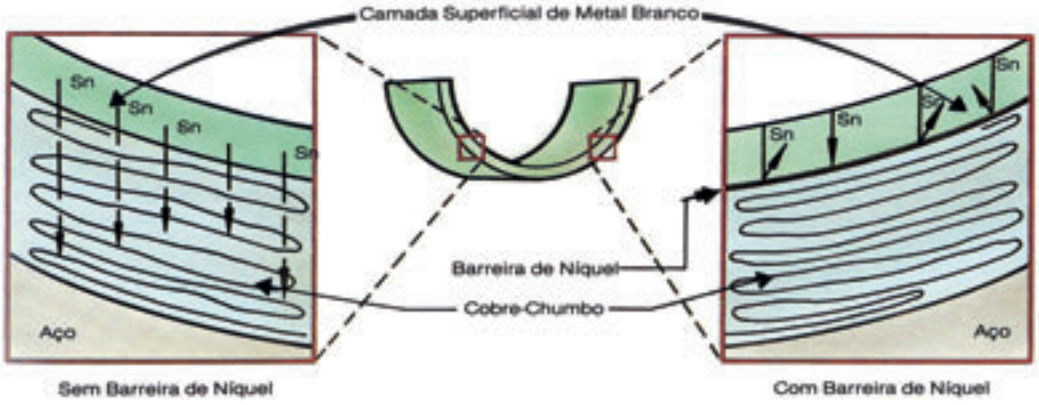


Fig.11.4.3

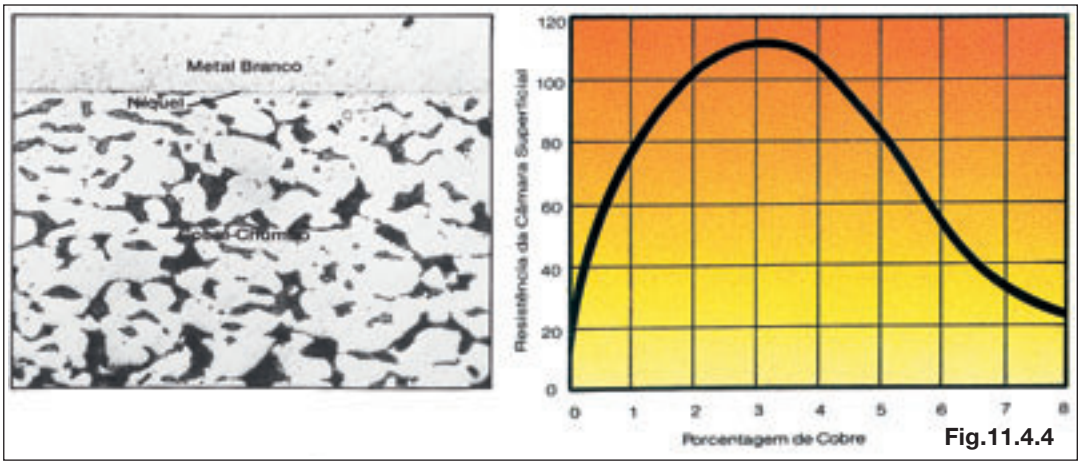


Fig.11.4.4

nio-zinco (Al-Zn). Um material agora empregado universalmente é a liga de alumínio com estanho, usada, geralmente, na faixa de serviço intermediário de resistência à fadiga.

Trimetálicas de alumínio

Tem uma camada de revestimento eletrodepositada de cobre-estanho-chumbo aplicada à liga básica de alumínio. A espessura da camada de revestimento eletrodepositada é nominalmente de 0,025mm (0,001 in) apresentando boa resistência à corrosão, alta capacidade de carga e bom deslizamento (ação de superfície). Algumas bronzinas são projetadas com uma camada de revestimento de 0,013 mm (0,0005 in).

V — Ligas de cobre-estanho com politetrafluoretileno (PTFE)

As peças de material PTFE são constituídas por três camadas. A primeira é uma capa de aço. Sobre essa capa de aço é sinterizada uma camada de cobre-estanho poroso com uma espessura, geralmente, de 0,30 mm a 0,35 mm. Essa camada é impregnada por uma mistura composta basicamente por politetrafluoretileno (PTFE) e pó de chumbo que preencherá os poros. Acima disso há, adicionalmente, uma camada superficial, normalmente de 10µm a 30µm, de mistura PTFE/chumbo. Essa mistura é depois curada. A capa de aço e a estrutura de bronze sinterizada dão ao material uma alta resistência à compressão e uma boa condutividade térmica, sendo também auto-lubrificante.

No momento esse material é usado basicamente para fabricação de buchas.

As principais aplicações típicas desse material são as seguintes:

- equipamentos agrícolas;
- eixos de acionamento de freios, embreagem e acelerador;
- braços de suspensão veicular;
- hastes de amortecedores.

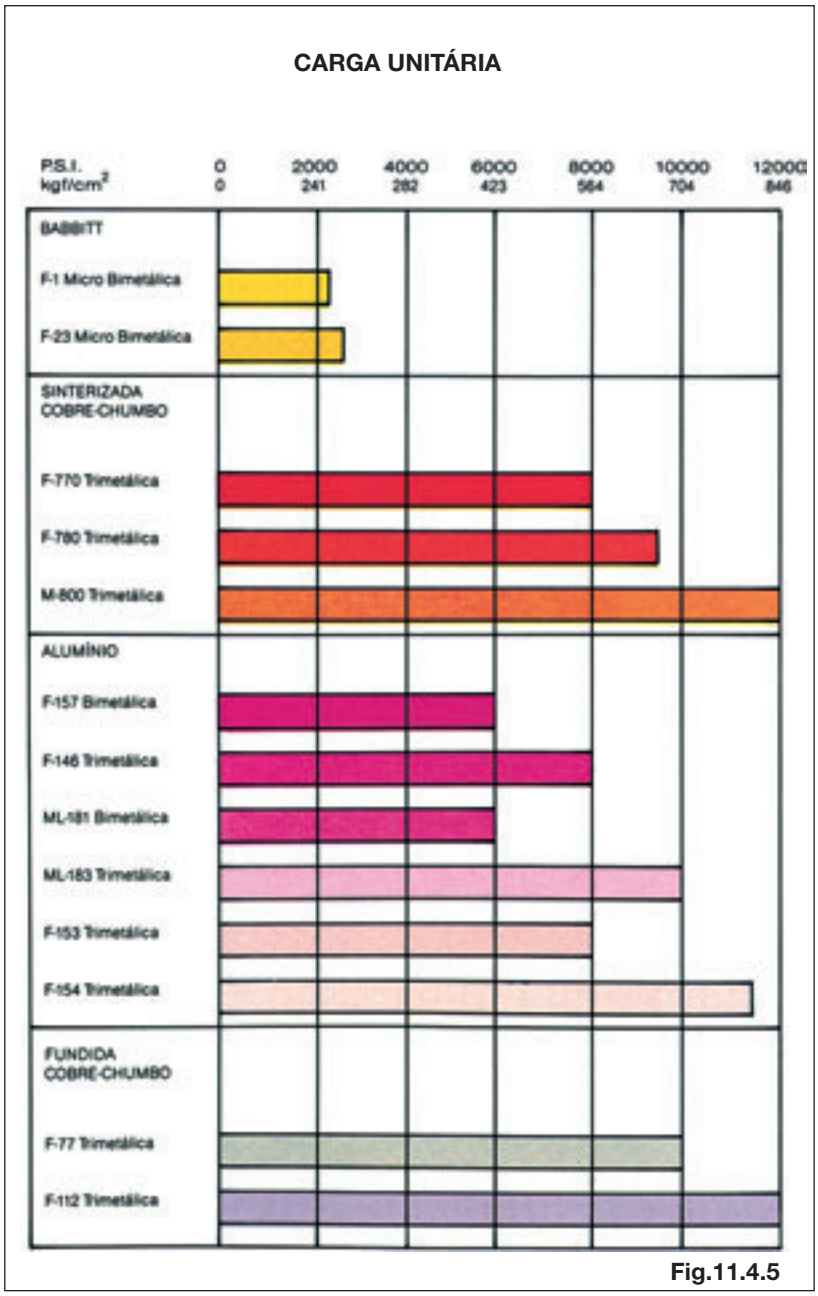


Fig.11.4.5

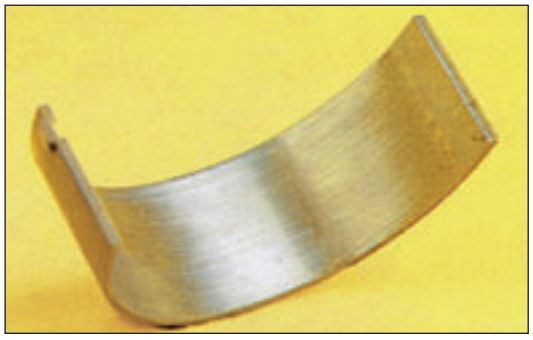
Cargas relativas a materiais de bronzinas

Cargas relativas às ligas mais usuais da Metal Leve encontram-se no gráfico da Figura 11.4.5. Os valores são baseados em condições ideais de testes, com óleo adequado, alinhamento perfeito e acabamento de eixo correto. Eles se relacionam às cargas cíclicas suportadas por bronzinas bipartidas em motores alternativos. A seleção do material, entretanto, deve levar em conta outros fatores, tais como: tipo de serviço, filtragem do lubrificante, pressão de pico do filme de óleo, temperatura de operação, etc.

12 — Falhas prematuras em bronzinas

Características normais de trabalho

A maior parcela de desgaste normal de uma bronzina ocorre quando da partida do motor ou no início da operação, após o que o desgaste continua, mas em ritmo bastante reduzido. Se efetuada uma manutenção preventiva adequada, apenas as partículas de dimensões reduzidas, não retidas no filtro de óleo, estarão presentes no processo de abrasão da superfície da bronzina. Nessa condição, as bronzinas devem ter uma vida consideravelmente longa.



A maior evidência de que o tempo de vida útil da bronzina foi ultrapassado é o aparecimento de ruídos no motor (“rajadas”) e uma diminuição da pressão do óleo lubrificante. O desgaste normal é, comumente, indicado por pequena quantidade de riscos na superfície da bronzina, provocados por partículas estranhas não retidas pelo filtro. Esses riscos não representam problemas, desde que a liga-base não seja atingida, sendo que, com a operação contínua, o desaparecimento desses riscos ainda pode ocorrer.

12.1 — Falhas prematuras em bronzinas por mau funcionamento

Corrosão

Aspecto

- A aparência típica da ocorrência de corrosão é identificada pela formação de compostos escuros e pequenas cavidades (“pits”) na superfície da bronzina.

Causas

- Corrosão é um ataque químico sobre a liga das bronzinas por compostos existentes no lubrificante. Tais compostos podem ser estranhos ao sistema de lubrificação, como no caso a água, ou podem ser produzidos durante a operação, como resultado da oxidação de óleo lubrificante. A ação nociva que se desenvolve quando uma bronzina opera em meio corrosivo pode ocasionar a remoção direta de um ou mais elementos de liga ou a formação de frágeis óxidos sobre a superfície de deslizamento.

No primeiro caso, o metal atacado é removido da matriz, tornando-a frágil com respeito à capacidade de carga, ocorrendo a fadiga. Igualmente, uma película frágil de óxido na superfície de deslizamento pode ser removida por fadiga ou mesmo por erosão, dada a dificuldade desta superfície de incrustar partículas estranhas.

A indústria de óleos lubrificantes tem desenvolvido aditivos que inibem a oxidação do óleo por um prolongado tempo de serviço, tornando esse tipo de falha bastante minimizado, mas não de todo eliminado. O calor gerado na operação acelera o processo de oxidação, bem como a exposição ao ar, à água ou a outros materiais estranhos no óleo, incluindo certos metais que podem atuar como catalizadores. Outros fatores contribuintes incluem a passagem de gases para o cárter ("blow-by") e a queima de combustível contendo alto teor de enxofre, com a possibilidade, inclusive, da formação de ácidos inorgânicos.

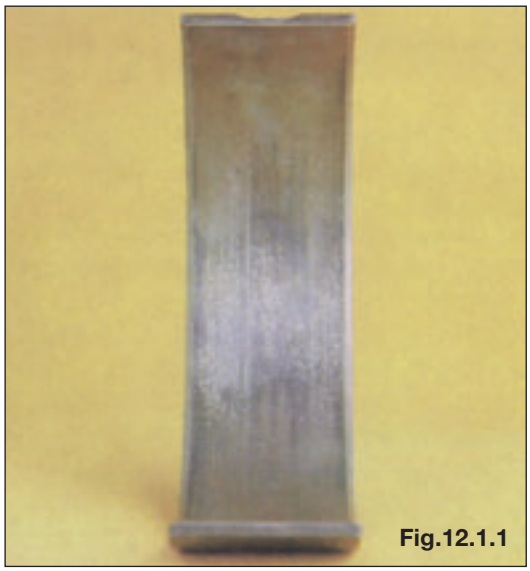


Fig.12.1.1

Correções

- Troca de óleo dentro do prazo especificado pela montadora/fabricante.
- Caso seja observado que a corrosão tenha sido provocada por passagem de gases para o cárter (“blow-by”), efetuar a troca dos anéis e retificar o motor, se necessário.

Fig.12.1.2

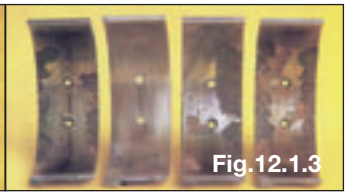


Fig.12.1.3

Fragilidade a quente (“hot short”)

Aspecto

- Grandes áreas da camada antifricção da bronzina são arrancadas, ficando exposta à capa de aço.

Causas

- Quando uma bronzina em operação se aquece acima da temperatura de fusão do chumbo (326ºC) ou estanho (231ºC) e está sujeita ao esforço de arraste considerável do atrito com o eixo, seu material antifricção assume a condição de fragilidade a quente. Sob essa condição, pode ocorrer uma movimentação do chumbo, separando-se do cobre, e a camada superficial perderá a aderência com a capa de aço, provocando, conseqüentemente, o destaque do material. A condição de fragilidade a quente é provocada por uma elevação excessiva de calor em alguma área da bronzina. O calor excessivo pode ser devido à insuficiência de folga radial, às impurezas, à deformação dos colos do virabrequim ou, ainda, ao desalinhamento do bloco e/ou virabrequim.

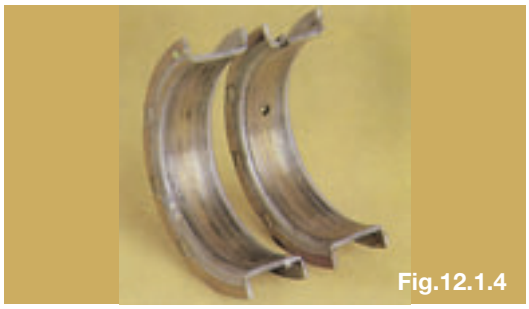


Fig.12.1.4

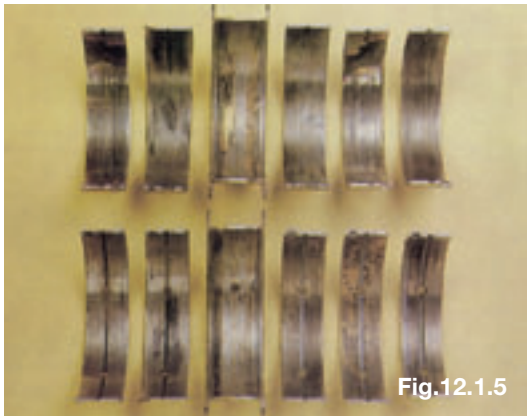


Fig.12.1.5

Correções

- Montar as bronzinas com a folga recomendada pela montadora/fabricante.
- Na troca de óleo, observar o máximo de limpeza e na montagem do motor, retirar todos os resíduos de usinagem e outras sujeiras existentes.
- Antes da montagem de novas bronzinas,fazer uma inspeção dimensional cuidadosa dos colos do virabrequim.
- Verificar o alinhamento do bloco e do virabrequim.

Fadiga generalizada

Aspecto

- A superfície da bronzina apresenta áreas irregulares de onde se destacou o material antifricção.

Fig.12.1.6

Causas

- Os danos por fadiga podem ser causados por esforço anormal e cíclico, ou seja, picos de carga (Fig. 12.1.7).

As fraturas por fadiga são iniciadas por cargas excessivas, propagando-se perpendicularmente à superfície da bronzina. Antes de alcançar a linha de ligação entre a liga da bronzina e o material suporte (aço), a fratura muda de direção, propagando-se paralelamente à linha de ligação.

Essas fraturas podem chegar a se unir, provocando o destacamento do material da bronzina. Um dos tipos mais comuns de fadiga ocorre na sobrecamada de bronzinas trimetálicas, onde as fraturas, após a penetração perpendicular, propagam-se paralelamente à barreira de níquel, ocasionando a remoção desta em áreas reduzidas (Fig. 12.1.8).

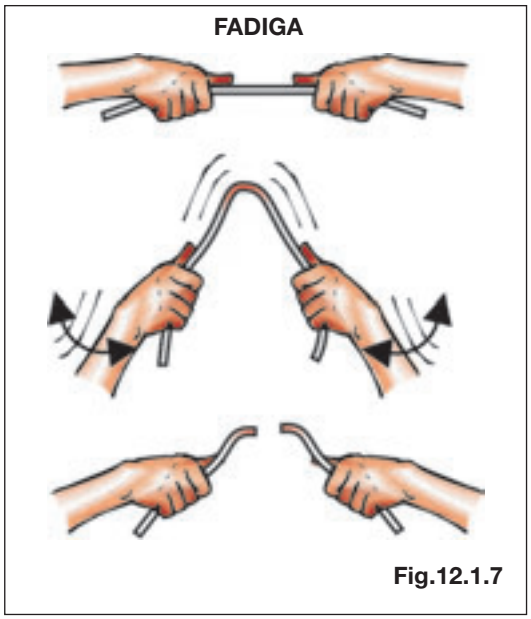
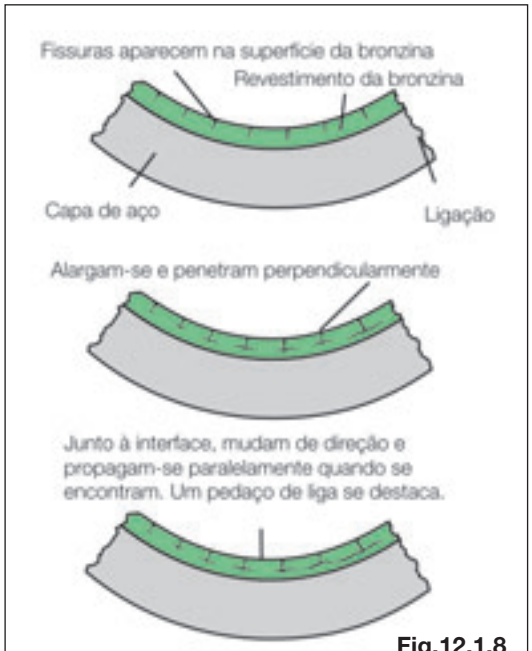


Fig.12.1.7


Fissuras aparecem na superfície da bronzina
Revestimento da bronzina
Capa de aço
Ligação
Alargam-se e penetram perpendicularmente
Junto à interface, mudam de direção e propagam-se paralelamente quando se encontram. Um pedaço de liga se destaca.
Fig.12.1.8

Correções

- Se a durabilidade da bronzina foi menor que a prevista, verificar as condições de temperatura e carga em que trabalhou o motor, eliminando os defeitos que houverem.
- Evitar sobrecargas operacionais do motor, observando as recomendações da montadora/fabricante.

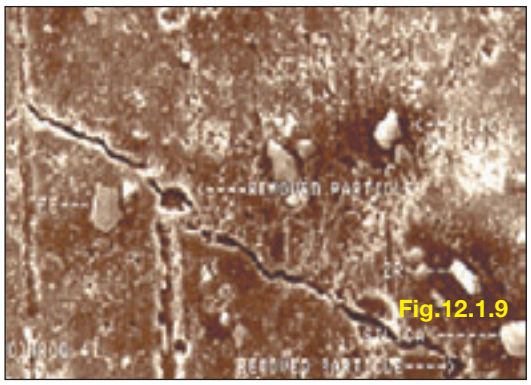


Fig.12.1.9

Ampliação – 350

Insuficiência de óleo na bronzina

Aspecto

- Quando uma bronzina falha por insuficiência ou diluição do óleo lubrificante, a sua superfície de trabalho pode tornar-se brilhante (Fig. 12.1.11).

No caso de falta completa de lubrificação, apresenta desgaste excessivo pelo arrastamento de material pelo eixo no contato da superfície de deslizamento da bronzina com o colo do virabrequim.

Causas

A insuficiência ou a diluição do filme de óleo lubrificante entre a bronzina e o eixo, que ocasiona o desgaste da camada eletrodepositada, é normalmente provocada por:

- folga vertical insuficiente;
- diluição do óleo lubrificante;
- motor trabalhando em marcha lenta por longos períodos.

A falta de óleo lubrificante, que ocasiona um contato metal-metal da bronzina com o colo do virabrequim, com desgaste excessivo pelo arrastamento do material antifricção, é normalmente provocado por:

- galerias de óleo parcialmente obstruídas;
- escolha incorreta de submedida da bronzina;
- montagem invertida das bronzinas centrais (parte inferior no lugar da superior);
- mau funcionamento da bomba de óleo ou da válvula de alívio.

Fig.12.1.10

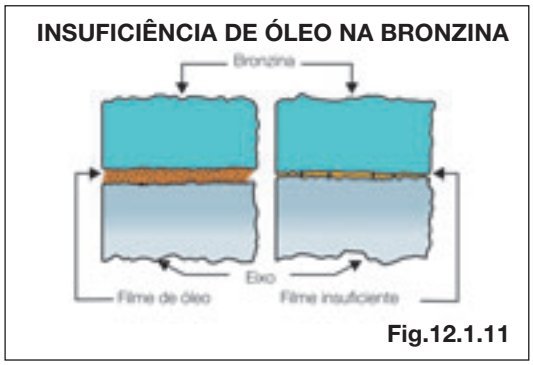


Fig.12.1.11

Correções

- Verificar as dimensões dos colos para a escolha correta das novas bronzinas.
- Retificar os colos do virabrequim, caso seja necessário.
- Verificar o bom funcionamento da bomba de óleo e da válvula de alívio. Caso seja necessário, recondicioná-las ou trocá-las.
- Observar se os furos de óleo das bronzinas estão alinhados com os existentes no bloco do motor e nas bielas.
- Evitar o funcionamento do motor na marcha lenta por períodos prolongados.
- Verificar a diluição do óleo lubrificante por combustível ou líquido de arrefecimento.

Erosão por cavitação

Aspecto

- Algumas regiões da superfície da bronzina ficam erodidas. Em algumas ocasiões, a erosão pode atravessar todo o material da liga da bronzina e chegar até a capa de aço.

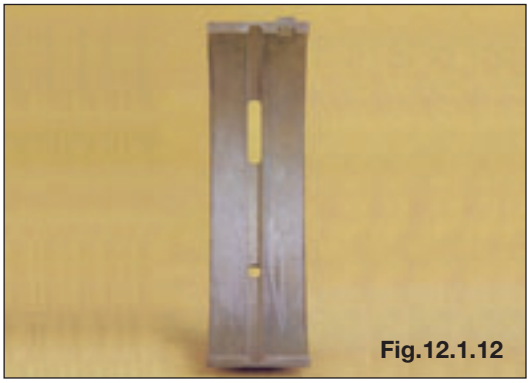


Fig.12.1.12

Causas

- A erosão por cavitação é um tipo de dano causado pela explosão instantânea de bolhas de vapor de óleo à baixa pressão na superfície da liga antifricção da bronzina. As cargas em uma bronzina do motor flutuam rapidamente, tanto em intensidade como em direção, durante o ciclo de trabalho do motor. Isso ocasiona mudanças rápidas na pressão hidrodinâmica do filme de óleo na bronzina.

A mudança de pressão é mais pronunciada a cada tempo do motor em que ocorre uma deformação relativamente grande entre a bronzina e o colo correspondente.

A erosão da bronzina também pode ser causada pela alta velocidade do fluxo de óleo nos furos do virabrequim e pela variação do fluxo em descontinuidades de sua superfície, como rebaixos, canais e cantos vivos.

A erosão por cavitação nas bronzinas pode ser dividida em quatro grupos principais:

- **Erosão por cavitação de sucção** – ocorre por trás do movimento do eixo;
- **Erosão por cavitação de descarga** – ocorre à frente do movimento do eixo;
- **Erosão por cavitação de fluxo**;
- **Erosão por cavitação de impacto**.

Fig.12.1.13

Correções

- Usar óleo lubrificante com viscosidade recomendada para o motor.
- Verificar a pressão do óleo.
- Evitar contaminação do óleo lubrificante.
- Verificar a folga de montagem.

Folga excessiva

Aspecto

- A peça apresenta riscos provocados por partículas e deformação/migração da liga antifricção para a região próxima à borda lateral da bronzina.

Causas

- As medidas dimensionais dos moentes ou munhões estando abaixo da medida mínima recomendada, assim como o diâmetro do alojamento das bronzinas estando acima do diâmetro máximo recomendado, proporcionarão folga de óleo lubrificante acima da máxima permitida. A folga excessiva não gera sustentação hidrodinâmica do eixo. Desta maneira, há contato do eixo com a superfície da bronzina, podendo ocasionar fusão e deformação superficial da liga antifricção da bronzina (Figs. 12.1.14 a 12.1.17).

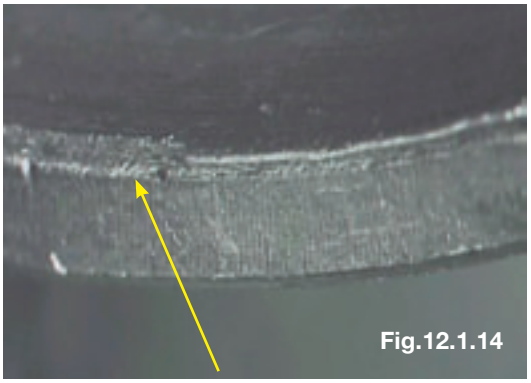


Fig.12.1.14

Escoamento da liga

Correções

- Conferir as medidas do diâmetro dos mancais, bielas e colos do moente e munhão do eixo virabrequim.
- Aplicar sempre o torque correto nos parafusos e substituí-los sempre que recomendado pela montadora/fabricante.
- Utilizar óleo lubrificante adequado ao motor e recomendado pela montadora/fabricante.

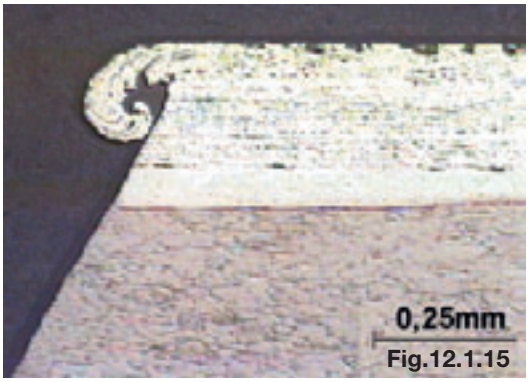
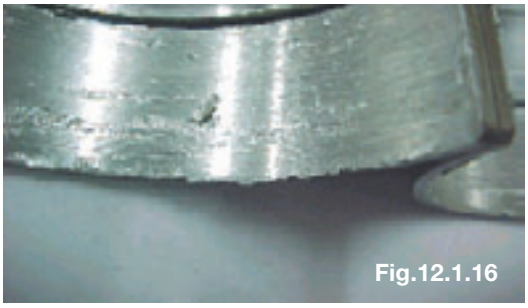
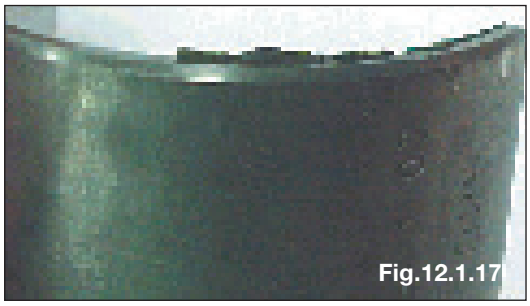


Fig.12.1.15

Escoamento da liga (foto ampliada)



Escoamento da liga



Escoamento da liga

12.2 — Falhas prematuras em bronzinas por erros de montagem

Folga axial (longitudinal) insuficiente

Aspecto

- Desgaste excessivo na lateral do flange e em uma região da superfície interna da bronzina, no lado de maior carga axial, enquanto que o outro lado encontra-se com aspecto normal de funcionamento. Nas áreas do desgaste, há fusão e desprendimento da liga antifricção.

Causas

- Instalação incorreta do motor (eixo piloto danificado e/ou com rebarbas), contaminação do fluido e do sistema hidráulico do freio contaminado, pré-acionamento da embreagem, obstrução do respiro do reservatório, servo engripado, adaptação inadequada do motor e/ou do conjunto de embreagem comprometem/tiram a folga axial, forçando o virabrequim contra o flange da bronzina a tal ponto que, pelo atrito gerado e pela falta da formação do filme de óleo, há uma elevação de temperatura a níveis onde o chumbo presente na liga se separa do cobre, com consequente danificação total dessas áreas.

Flange totalmente desgastado

Correções

- Obedecer a folga de montagem especificada pela montadora/fabricante.
- Verificar a colocação correta dos elementos de ligação entre o motor e câmbio (eixo piloto por exemplo).
- Efetuar a sangria do sistema de freio de forma correta e seguindo as recomendações do fabricante.
- Verificar e desentupir o respiro do reservatório de óleo.
- Conferir a folga axial do eixo virabrequim antes e depois da instalação do motor no veículo.

Flange do lado dianteiro da bronzina sem desgaste e do lado traseiro com desgaste

Impurezas sólidas

Aspecto

- Partículas estranhas ficam impregnadas na liga antifricção, provocando deslocamento do material. Pode-se encontrar também riscos na superfície da bronzina.

Fig.12.2.4

Causas

- Poeira, sujeira, abrasivos ou partículas metálicas presentes no óleo incrustam-se na superfície da bronzina, deslocando a liga antifricção. As saliências, da liga ou da partícula, podem tocar no eixo, criando pontos de atrito localizados e provocando o rompimento do filme de óleo (Fig. 12.2.5).

As impurezas podem provir da limpeza incorreta do motor antes ou durante a montagem. Pode ocorrer também falha de funcionamento pelo desgaste de partes metálicas.

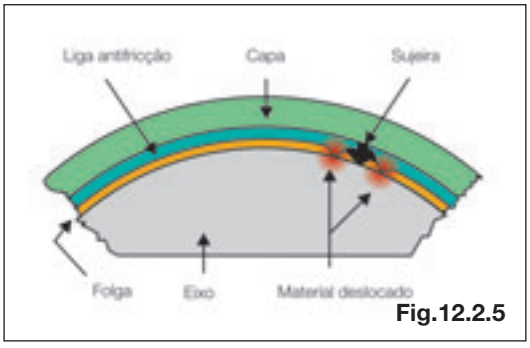


Fig.12.2.5

Impurezas sólidas

Correções

- Instalar novas bronzinas, seguindo cuidadosamente as instruções de limpeza recomendadas.
- Retificar o eixo, caso seja necessário.
- Recomendar que o operador troque o óleo e o respectivo filtro, periodicamente, nos intervalos recomendados pela montadora/fabricante do motor e mantenha limpos o filtro de ar e o respiro do cárter.

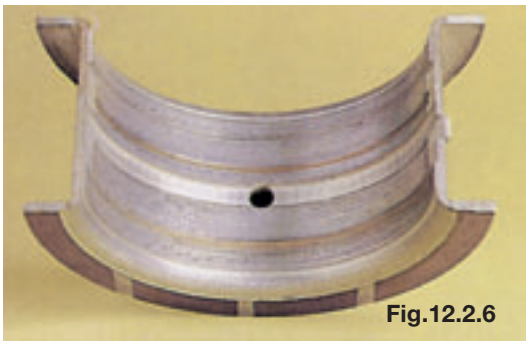


Fig.12.2.6

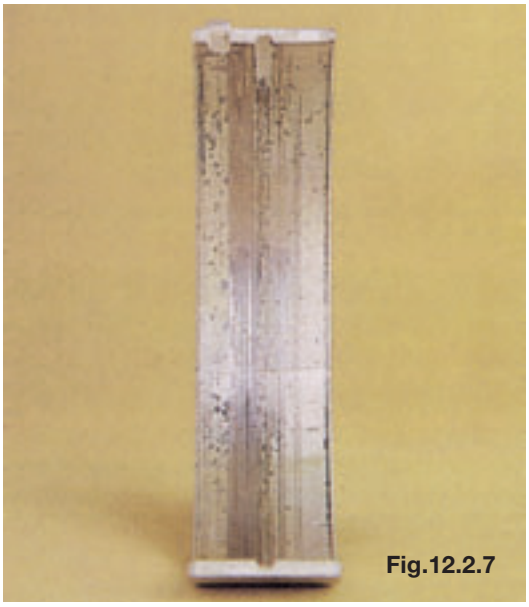


Fig.12.2.7

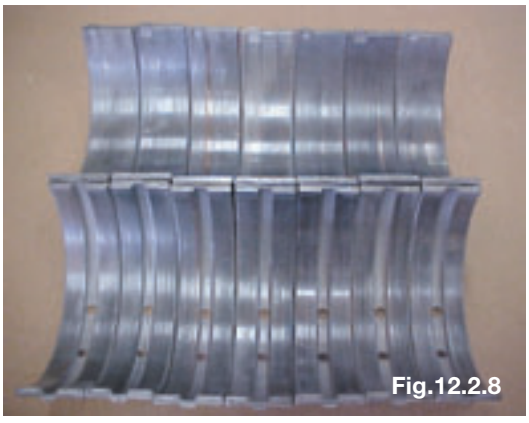


Fig.12.2.8

Bronzinas de mancal contaminadas e com riscos circunferenciais

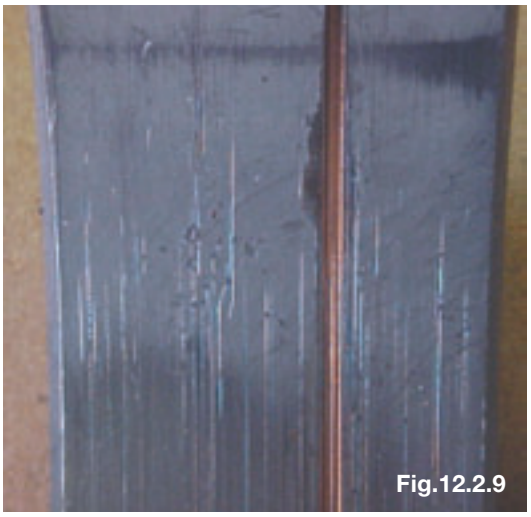
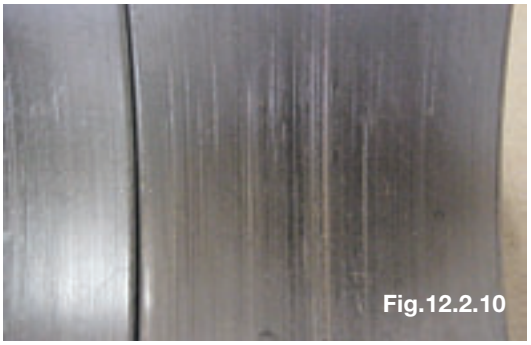


Foto ampliada do canal aberto pelo corpo sólido estranho na bronzina



Bronzinas de biela contaminadas e com riscos circunferenciais

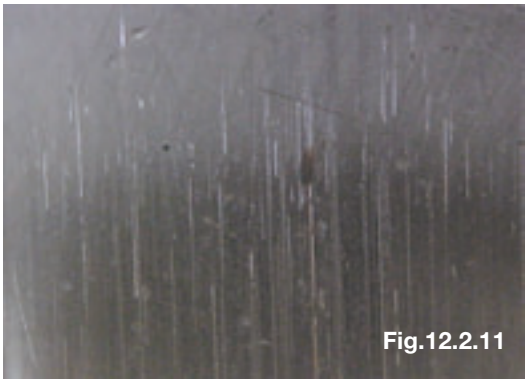
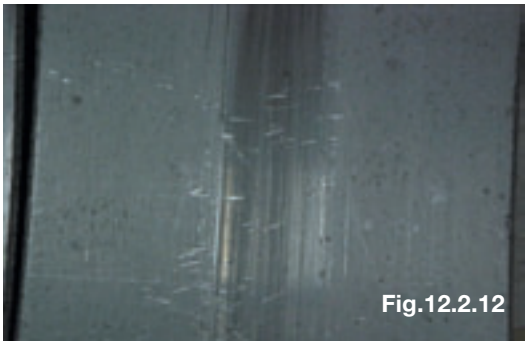


Foto ampliada dos riscos e dos corpos estranhos na bronzina

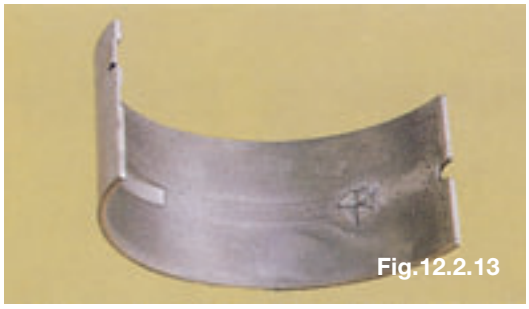


Bronzinas de biela contaminadas e com riscos circunferenciais na direção do furo de lubrificação

Sujeira no alojamento

Aspecto

- Área localizada de desgaste na superfície da liga, correspondendo a uma marca provocada pela presença de partícula estranha nas costas da bronzina.

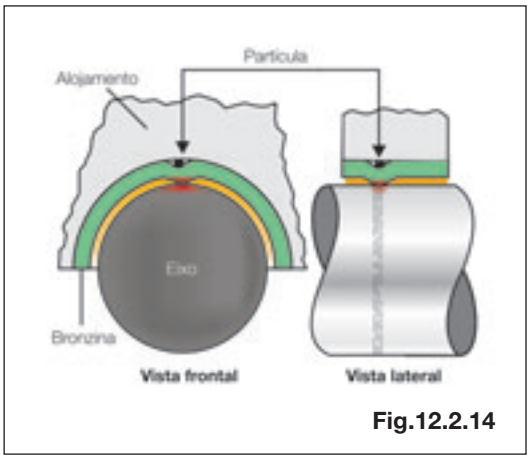


Causas

- Partículas entre o alojamento e a bronzina impedem o contato adequado e dificultam o fluxo de calor. O aquecimento e as cargas localizadas provocam a fadiga nessa área e o material se destaca (Fig. 12.2.14).

Correções

- Limpar cuidadosamente o alojamento, retirando todas as rebarbas, as sujeiras ou as partículas sólidas, antes de instalar novas bronzinas.
- Examinar o estado dos colos e retificá-los, caso seja necessário.



Sujeira no alojamento

Alojamento ovalizado

Aspecto

- Áreas de desgaste excessivo próximas às linhas de partição da bronzina.

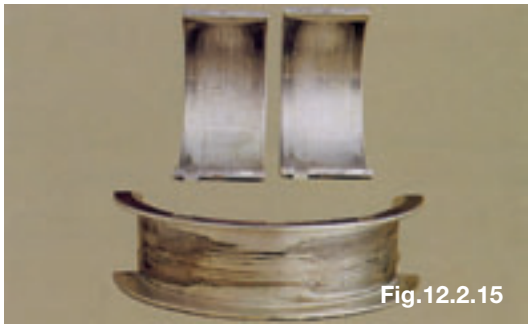


Fig.12.2.15

Causas

- As flexões da biela devido às cargas alternadas podem produzir a ovalização do alojamento. As bronzinas tendem a adquirir essa forma, resultando, daí, uma superfície interna não-cilíndrica. A folga próxima da linha de partição pela deformação do alojamento fica muito reduzida, podendo haver contato metálico da liga antifricção com o colo do eixo (Fig. 12.2.16).

Correções

- Examinar a circularidade do alojamento da bronzina e se estiver fora das especificações, recondicioná-lo ou trocar a biela.
- Examinar o colo do eixo, retificando-o caso seja necessário.

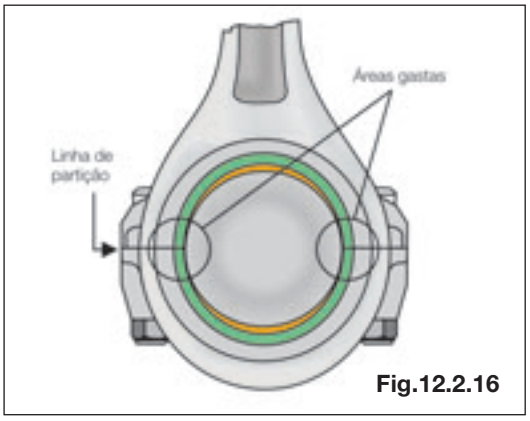


Fig.12.2.16

Alojamento ovalizado

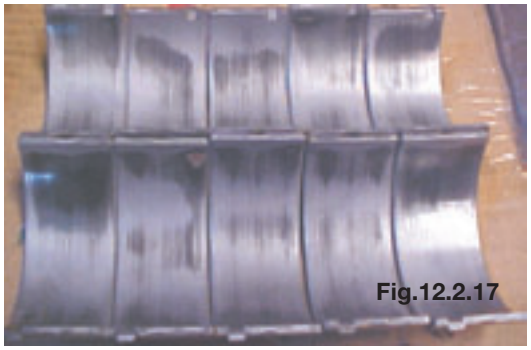


Fig.12.2.17

Marcas de contato do eixo virabrequim com a bronzina

Altura de encosto insuficiente

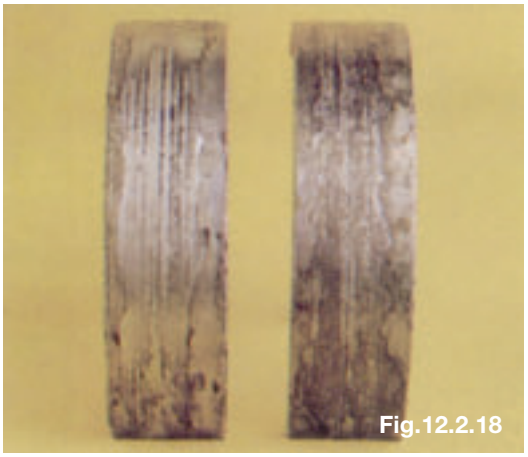


Fig.12.2.18

Aspecto

- Áreas brilhantes (polidas) são visíveis nas costas da bronzina e, em alguns casos, também na superfície da partição.

Causas

- O aperto insuficiente não permite que se estabeleça a pressão radial que retém a bronzina no alojamento.

O contato é inadequado, a condução do calor é dificultada e, ao mesmo tempo, o atrito adicional provocado pela pulsação da bronzina aumenta o calor gerado (Fig. 12.2.21). As causas para uma altura de encosto ser insuficiente são:

- limagem na superfície de partição da bronzina;
- capa afastada por sujeira ou rebarba na superfície de partição;
- torque insuficiente;
- parafuso encostando no fundo de um furo não-passante;
- alojamento da bronzina com o diâmetro acima do especificado.

Correções

- Limpar as superfícies de partição antes de apertar os parafusos.
- Examinar as dimensões e o estado dos alojamentos, recondicionando-os caso seja necessário.
- Aplicar, no aperto dos parafusos ou das porcas, o torque recomendado pela montadora/fabricante.

Fig.12.2.19

Fig.12.2.20

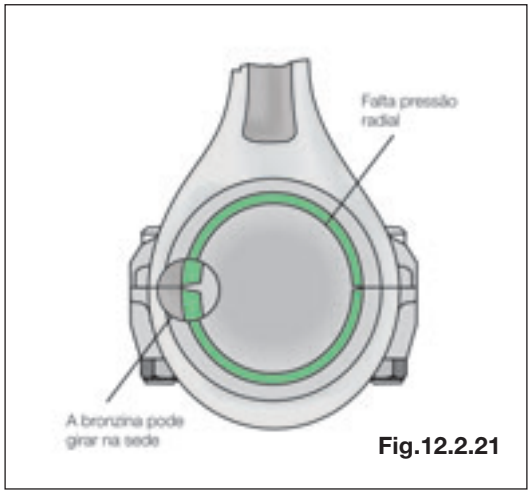


Fig.12.2.21

Altura de encosto insuficiente

Altura de encosto excessiva

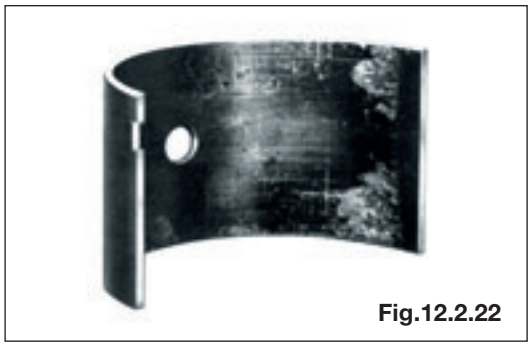


Fig.12.2.22

Aspecto

- Áreas de desgaste excessivo junto à linha de partição, em uma das bronzinas ou em ambas.

Causas

- Quando se coloca a bronzina no alojamento,ela fica saliente na linha de partição (altura de encosto). Ao se apertar os parafusos da capa, as bronzinas serão forçadas contra o alojamento, garantindo um bom contato.

Existindo o excesso de altura de encosto, a força radial que se desenvolve pode provocar a flambagem da bronzina próximo à linha de partição (Fig. 12.2.23).

São causas comuns:

- superfície de partição do alojamento usinada;
- torque excessivo (aperto).

Correções

- Se tiver sido usinada a superfície de partição da capa, do bloco ou da biela, reusinar o alojamento para se obter uma circularidade perfeita.
- Verificar, com o emprego do Azul da Prússia ou com outro processo adequado (súbito, etc.), se a ovalização está dentro dos valores permitidos, depois de ter dado o aperto correto nos parafusos da capa com a chave de torque.
- Aplicar, no aperto dos parafusos ou das porcas, o torque recomendado pela montadora/ fabricante.

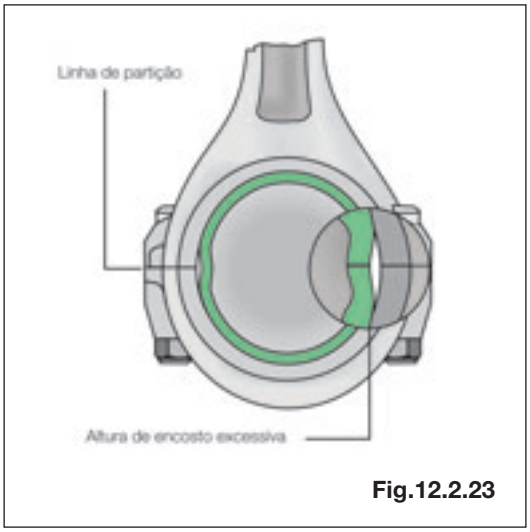


Fig.12.2.23

Altura de encosto excessiva

Biela empenada ou torcida

Aspecto

- Áreas de desgaste excessivo nos lados diagonalmente opostos de cada bronzina.

Fig.12.2.24

Causas

- Numa biela empenada ou com torção, os alojamentos estão desalinhados, originando áreas de elevadas pressões e até contato metal-metal entre a bronzina e o colo do virabrequim. O empenamento da biela pode ocorrer por introdução forçada do pino, aperto dos parafusos das capas com a biela fixada incorretamente na morsa ou por calço hidráulico (Fig. 12.2.25).

Correções

- Examinar a biela e, caso seja necessário, substituí-la.
- Evitar esforços de torção na biela.

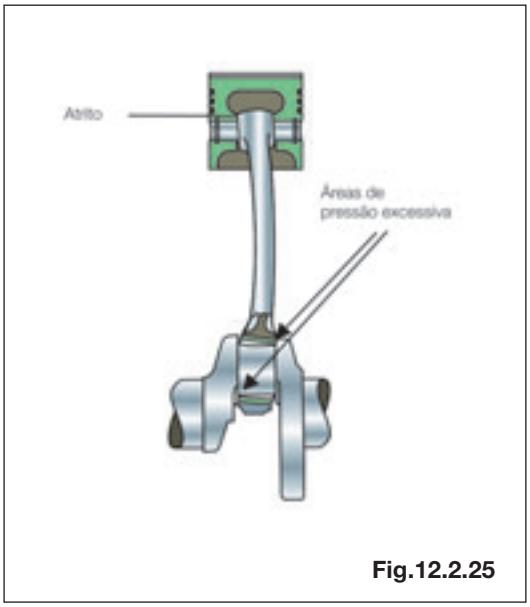


Fig.12.2.25

Biela empenada

Capa deslocada

Aspecto

- Áreas de desgaste excessivo nos lados diametralmente opostos de cada bronzina próximas à linha de partição.

Causas

A capa do mancal foi deslocada, forçando um lado de cada bronzina contra o eixo (Fig. 8.8). Isso pode acontecer devido às seguintes causas:

- uso de chave inadequada para o aperto dos parafusos;
- inversão da capa;
- furos, pinos ou outros sistemas de centralização das capas alterados;
- eixo virabrequim com o centro deslocado durante o procedimento de usinagem;
- reaproveitamento dos parafusos de biela e/ou mancal.

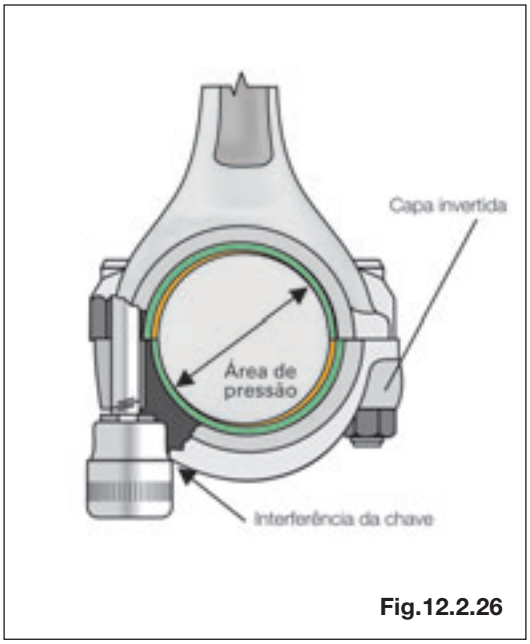


Fig.12.2.26

Capa deslocada

Correções

- Escolher a chave adequada e apertar alternadamente os parafusos para perfeito assentamento da capa.
- Certificar-se de que a posição da capa está correta.
- Verificar se o sistema de centragem das capas não está alterado ou danificado e substituí-lo, caso seja necessário.
- Substituir os parafusos de biela e/ou mancal, conforme a recomendação da montadora/fabricante do motor.
- Usinar o eixo virabrequim dentro das especificações da montadora/fabricante.

Fig.12.2.27

Fig.12.2.28

Desgaste prematuro

Fig.12.2.29

Desgaste prematuro

Virabrequim deformado

Aspecto

- Uma faixa de desgaste bem definida pode ser observada no conjunto de bronzinas centrais superiores ou no conjunto das inferiores.

O grau de desgaste varia de bronzina para bronzina, mas, geralmente, na do meio ele é bem mais acentuado.

Causas

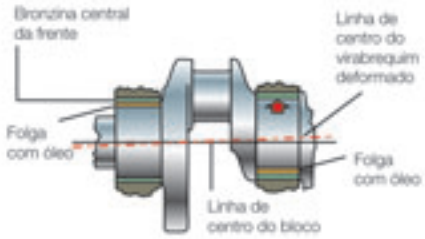
- O virabrequim deformado submete as bronzinas centrais a cargas excessivas, sendo as pressões máximas obtidas nos pontos de maior distorção.

Nestes pontos, a folga também se reduz e pode haver contato metal-metal entre a bronzina e o colo do virabrequim (Fig. 12.2.30).

O virabrequim pode se deformar devido ao manuseio inadequado, à armazenagem incorreta ou às condições operacionais extremas.

Correções

- Verificar se o eixo está deformado através de um processo adequado.
- Desempenar o virabrequim.


Bronzina central da frente
Linha de centro do virabrequim deformado
Folga com óleo
Folga com óleo
Linha de centro do bloco
Fig.12.2.30

Virabrequim deformado

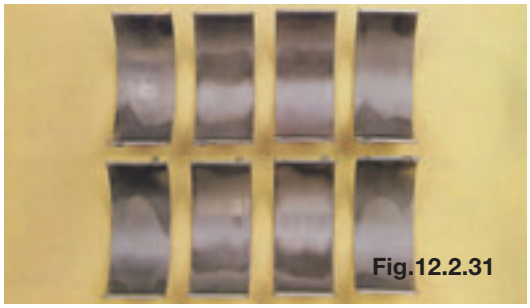


Fig.12.2.31

Bloco deformado

Aspecto

- Uma faixa de desgaste bem definida pode ser observada no conjunto de bronzinas centrais superiores ou no conjunto das inferiores.

O grau de desgaste varia de bronzina para bronzina, mas, geralmente, na do meio ele é bem acentuado.

Causas

O aquecimento e resfriamento brusco do motor é uma das causas da distorção dos blocos, quando ele opera sem válvula termostática. A deformação do bloco pode também ser causada por:

- condições desfavoráveis de uso (por exemplo, sobrecarga operacional do motor);
- procedimentos de aperto incorreto dos parafusos do cabeçote (Fig. 12.2.34).

Correções

- Determinar a existência de deformação através de um processo adequado;
- Realinhar (mandrilar) os alojamentos;
- Instalar válvula termostática.

Fig.12.2.32

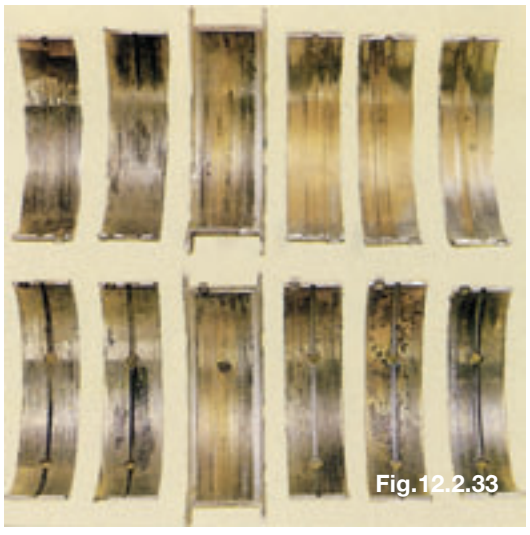


Fig.12.2.33

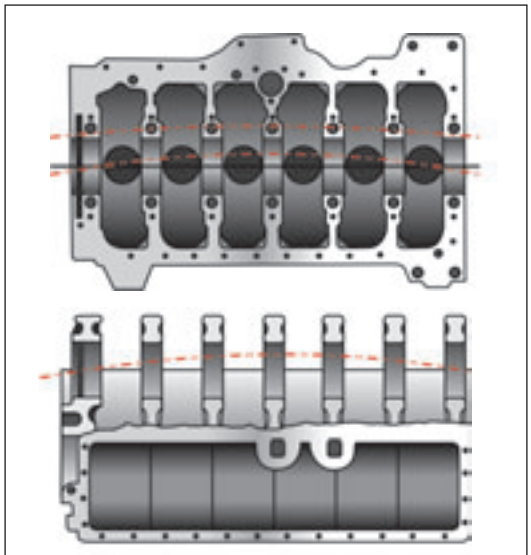


Fig.12.2.34

Bloco deformado

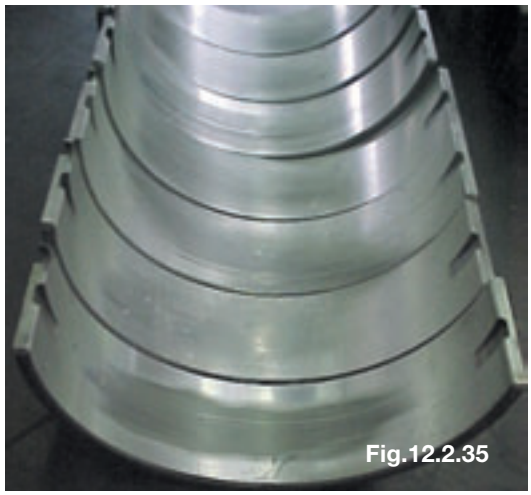


Fig.12.2.35

Marcação irregular da bronzina

Colos não-cilíndricos

Aspecto

- Faixa de desgaste desigual na bronzina. De acordo com as regiões que ficam submetidas a maiores pressões, distingüem-se três aspectos principais que correspondem respectivamente aos defeitos de forma dos colos ilustrados (Fig. 12.2.36 – A, B e C).

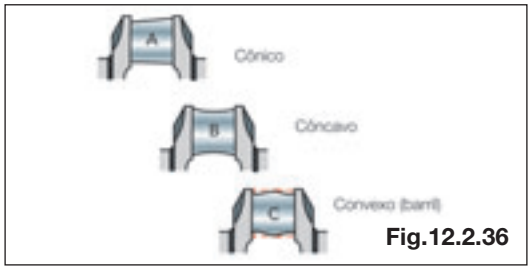


Fig.12.2.36

Colos não-cilíndricos

Causas

- Colos não-cilíndricos impõem uma distribuição irregular de cargas na superfície da bronzina gerando, em certas áreas, maior quantidade de calor e acelerando o desgaste. As folgas poderão tornar-se insuficientes e haver contato metal-metal entre a bronzina e o colo do virabrequim.

Em outros casos, as folgas serão excessivas. Os perfis cônico, côncavo ou convexo (barril) dos colos do virabrequim e, ainda, a conicidade do alojamento da bronzina na biela são sempre devido à retificação incorreta.

Correções

- Retificar corretamente os colos e alojamentos.

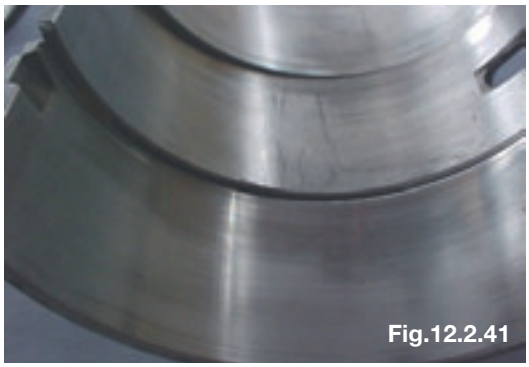


Fig.12.2.41

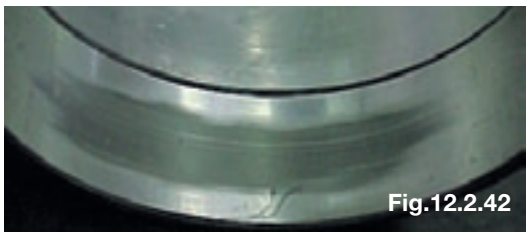


Fig.12.2.42

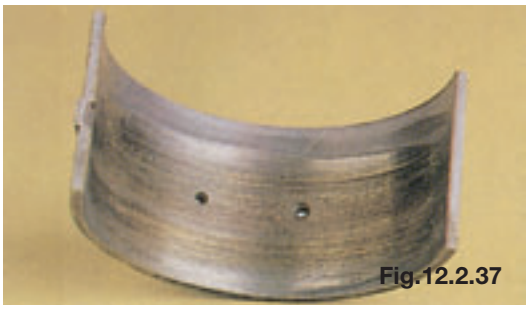


Fig.12.2.37

Fig.12.2.38

Fig.12.2.39

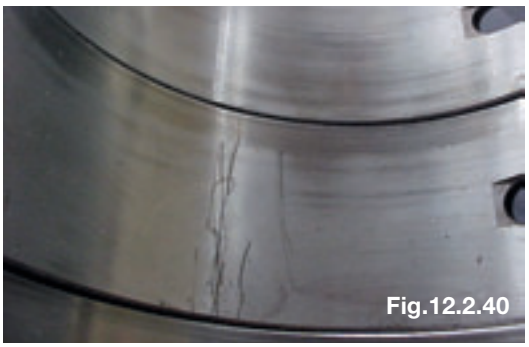


Fig.12.2.40

Raio de concordância incorreto

Aspecto

- Áreas de desgaste excessivo ao longo das superfícies laterais da bronzina.

Causas

- Raios de concordância dos colos incorretos, ocasionando o contato metal-metal ao longo das superfícies laterais da bronzina (Fig.12.2.43). Isso leva a um desgaste excessivo e a uma fadiga prematura localizada.

Correções

- Retificar os colos, tomando o cuidado de executar os raios com a curvatura correta.
- Não deixar canto vivo, porque enfraquecerá o eixo pela concentração de tensões em área já muito solicitada.

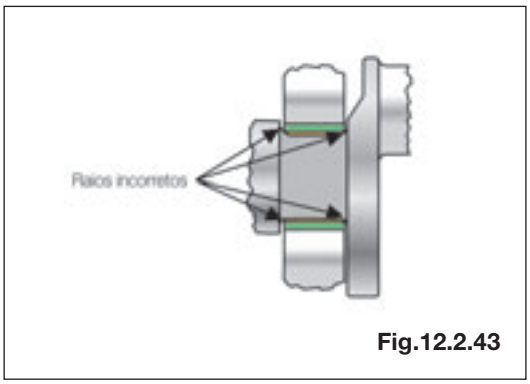


Fig.12.2.43

Raio de concordância incorreto

Fig.12.2.44

Torque incorreto e aplicação de cola/adesivo

Aspecto

- A peça apresenta-se amassada na região de bipartição da carcaça e com o canal externo de lubrificação parcialmente obstruído com cola/adesivo.

Causas

- O torque aplicado nos prisioneiros/parafusos de fixação do bloco, quando excede o especificado pela montadora/fabricante, provoca a deformação e, conseqüentemente, o contato metal-metal. Este contato gera calor suficiente para iniciar a fusão do material e seu arraste. Outro fator que leva à fusão é a obstrução parcial por cola/adesivo dos canais externos de lubrificação (Fig. 12.2.45).

O posicionamento incorreto/deslocamento da trava também provocará deformação na peça, comprometendo a folga de óleo (Fig. 12.2.46).

Correções

- Aferir/revisar periodicamente o torquímetro.
- Aplicar o torque recomendado pela montadora/fabricante.
- Montar o motor seguindo as recomendações da montadora/fabricante referentes à utilização ou não de cola/adesivo.

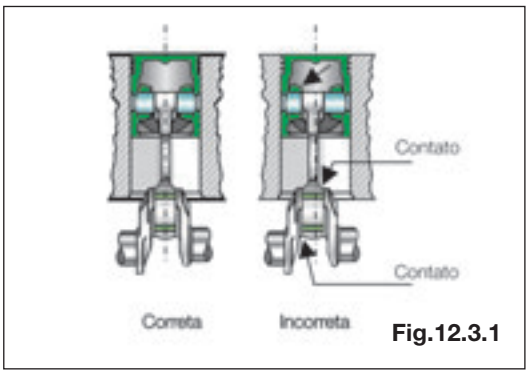
Cola/adesivo no canal de lubrificação externa da bronzina

Marca do pino na parte externa da bronzina

12.3 — Montagem incorreta por falta de atenção

- As bronzinas não funcionarão adequadamente se não forem montadas de maneira correta ou se sofrerem alterações de seu projeto. A montagem incorreta quase sempre provoca uma falha prematura da bronzina.

As figuras a seguir mostram os erros mais comuns de montagem.



Biela assimétrica

CAPAS INVERTIDAS OU TROCADAS

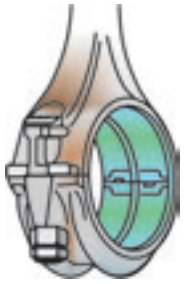


Fig.12.3.2

RESSALTOS DE CENTRAGEM NÃO COINCIDENTES

Fig.12.3.5

CALÇOS IMPRÓPRIOS

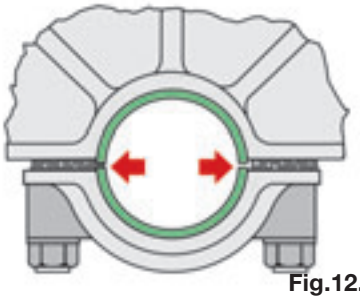


Fig.12.3.3

FURO DE ÓLEO NÃO ALINHADO

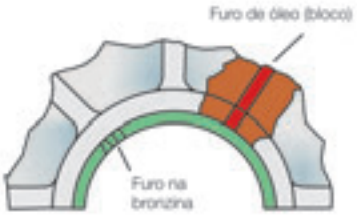


Fig.12.3.6

BRONZINAS TROCADAS

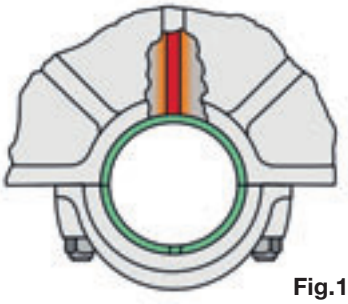


Fig.12.3.4

ARRUELAS DE ENCOSTO

13 — Arruelas de encosto

13.1 — Objetivos e princípios de funcionamento

A função da arruela de encosto é evitar o contato da lateral do eixo virabrequim com a lateral dos mancais. Também tem a função de manter a folga axial dentro de padrões preestabelecidos. Em bronzinas com flange, a folga axial é controlada pelo próprio flange.

13.2 — Nomenclatura das arruelas

No intuito de padronizar a nomenclatura, segue abaixo a Figura 13.2.1.

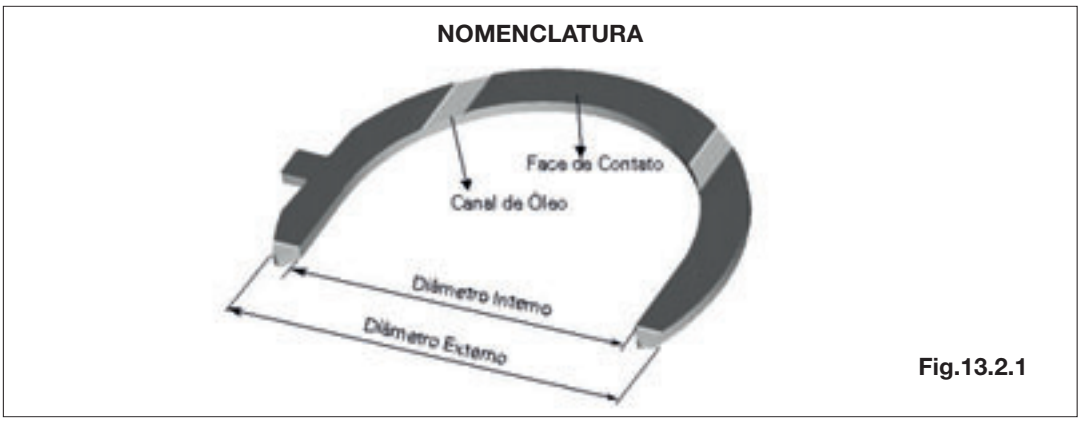


Fig.13.2.1

13.3 — Tecnologia de arruelas de encosto

As arruelas de encosto são normalmente fabricadas com alguns dos tipos de materiais em tiras utilizados na produção de bronzinas e buchas. Dependendo da temperatura de operação, carga, etc, um material para arruela de encosto pode ser selecionado de modo muito semelhante àquele utilizado para escolher materiais para bronzinas e buchas.

As arruelas de encosto podem ser lisas ou com canais de óleo com dimensões, formato e em quantidade adequados para permitir uma boa lubrificação. A maior parte dos canais pode estar de um lado ou em ambos os lados e o número deles pode variar em função dos requisitos do material e do uso específico.

Como ilustrado na Figura 13.3.1, uma das vantagens das arruelas de encosto é a diversidade de formas, tamanhos e espessuras com a qual elas podem ser fabricadas.

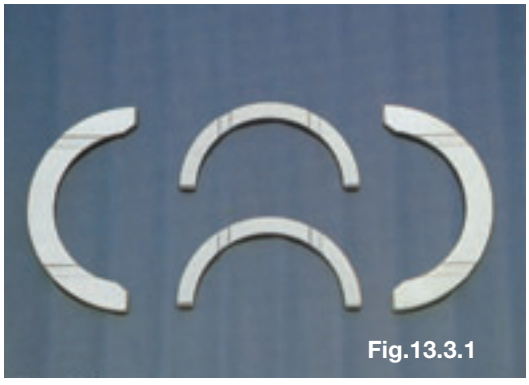


Fig.13.3.1

Montagem de arruelas de encosto

As arruelas de encosto são posicionadas nos rebaixos usinados existentes nas laterais do bloco e na capa do mancal, e são impedidas de girar através de ressaltos.

Alguns tipos de arruela de encosto possuem chanfros de posicionamento para evitar a montagem invertida das peças.

Materiais

As arruelas de encosto são fabricadas normalmente com os seguintes materiais:

- ligas de cobre-chumbo fundidas sobre tiras de aço;
- ligas de cobre-chumbo sinterizadas sobre tiras de aço;
- ligas de alumínio sobre tiras de aço.

BUCHAS

14 — Buchas

14.1 — Objetivos e princípios de funcionamento

A função principal da bucha é reduzir o atrito entre uma parte móvel de um motor e a parte estática a ela ligada. Também deve resistir a cargas altas, particularmente às de alto impacto causadas pela combustão do motor.

14.2 — Nomenclatura da bucha

No sentido de padronizar as denominações da bucha, apresentamos na Figura 14.2.1 a nomenclatura adotada.

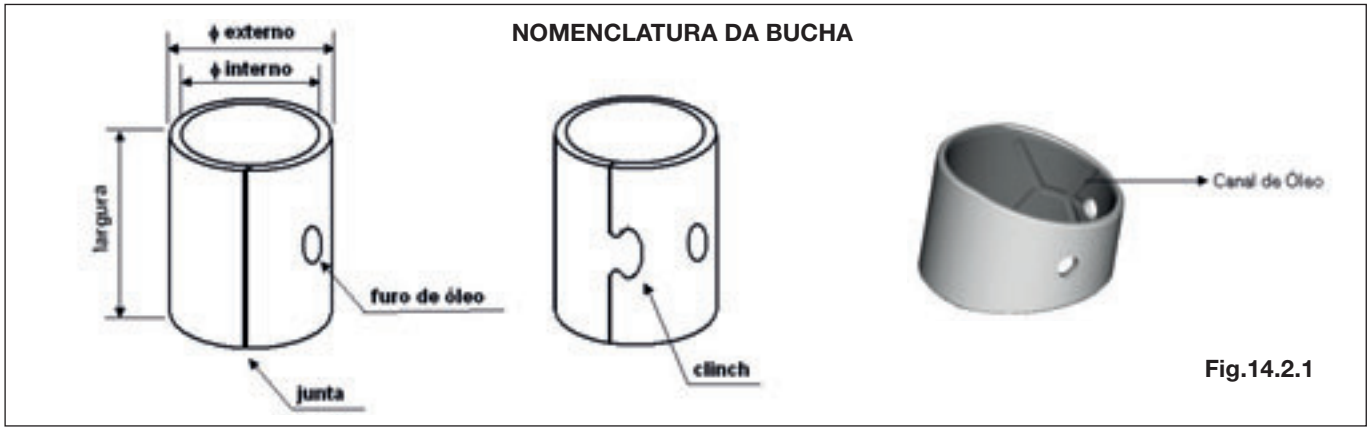


Fig.14.2.1

14.3 — Tecnologia de buchas

A maioria dos elementos de projetos para buchas é semelhante aos das bronzinas. As diferenças básicas estão no formato, sendo que a terminologia varia muito pouco.

A escolha das dimensões e do material das buchas varia de acordo com a sua aplicação, ou seja, carga, velocidade, tamanho do eixo e forma de lubrificação a ser utilizada.

As buchas podem ser inteiriças ou com partição. Os tipos de partição mais comuns são retas ou com “clinch”.

Montagem da bucha

Interferência

A interferência de montagem representa a diferença entre o diâmetro externo da bucha e o diâmetro interno do alojamento. Essa interferência é necessária para fixar firmemente a bucha no seu alojamento de forma a impedir que ela se movimente em funcionamento.

Folga

A folga diametral representa a diferença entre o diâmetro interno da bucha e o diâmetro do eixo. A experiência tem provado que a folga diametral deve ser proporcional ao diâmetro do eixo. Recomenda-se que a folga diametral mínima seja aproximadamente igual ao diâmetro nominal do eixo dividido por 1.000.

Materiais

As buchas são fabricadas com os mesmos materiais antifricção usados nas bronzinas. As buchas normalmente não apresentam a camada de revestimento, porém recebem uma camada de estanho protetora contra oxidação. Portanto, elas são bimetálicas.

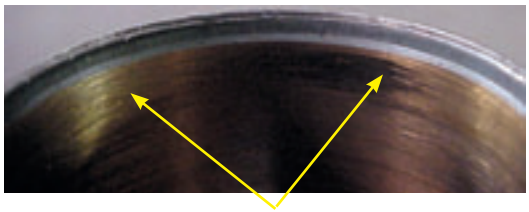
Os materiais mais empregados são os seguintes:

- ligas de chumbo-estanho fundidas sobre tira de aço;
- ligas de cobre-chumbo fundidas sobre tira de aço;
- ligas de cobre-chumbo sinterizadas sobre tira de aço;
- ligas de alumínio sobre tira de aço;
- alumínio sólido;
- ligas de cobre-chumbo sinterizadas com PTFE.

15 — Falhas prematuras em buchas

Características normais de trabalho

As buchas, assim como as bronzinas, apresentam maior parcela de desgaste normal quando da partida do motor para o início da operação. Para que o desgaste seja sempre o menor possível, é necessário que as manutenções de troca de óleo, filtro lubrificante e filtro de ar sejam executadas segundo as recomendações da montadora/fabricante. É importante também a atenção para qualquer evidência de falha da bomba de óleo lubrificante ou, de maneira geral, falhas nos sistemas de lubrificação, de filtração de ar, de alimentação/injeção e de arrefecimento durante o período de vida útil do motor.



Riscos normais e espessura correta da parede

15.1 — Falhas prematuras em buchas por erros de montagem

Folga de montagem incorreta

Aspecto

- A superfície externa da bucha apresenta riscos circunferenciais profundos.

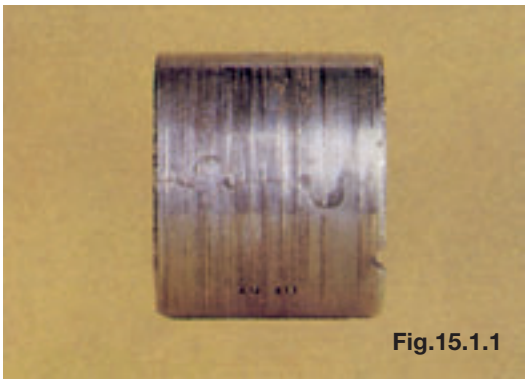


Fig.15.1.1

Causas

- Montagem do eixo na bucha com folga diametral insuficiente, fazendo com que o eixo fique “agarrado” na bucha e provoque a rotação desta no alojamento.

Correções

- Utilizar a folga de montagem especificada pela montadora/fabricante do motor.

Alojamento deformado

Aspecto

- A superfície externa da bucha apresenta áreas de pouco contato com o alojamento. Na superfície interna, a peça apresenta destacamento da liga antifricção.

Causas

- O processo de fabricação das buchas de eixo comando adotado pela MAHLE Metal Leve S. A. é o denominado "G Die" (estampagem progressi-

Fig.15.1.2

va). Neste processo, as buchas na conformação assumem a forma cilíndrica com tolerâncias para garantir o perfeito assentamento após terem sido montadas no alojamento do bloco do motor.

As tolerâncias de forma do alojamento são especificadas pela montadora/fabricante do motor.

Caso o alojamento não atenda às características de forma definida dentro da tolerância estabelecida pela montadora/fabricante, haverá diminuição da área de contato da bucha com o alojamento, ocorrendo, assim, o mau assentamento desta. Este fato não permite a perfeita dissipação do calor gerado em operação do mancal, podendo ocorrer a fusão da liga da bucha. Pode acarretar também erro de forma do diâmetro interno após a bucha ser montada, quebrando o filme de óleo lubrificante e, conseqüentemente, podendo haver fadiga, engripamento e destacamento do material.

Correções

- Verificar a circularidade do alojamento antes da montagem de uma nova bucha.
- No caso de alojamento muito deformado, retificá-lo e utilizar uma bucha com sobremedida externa.
- Manter as especificações de tolerância e interferência entre a bucha e o alojamento recomendadas pela montadora/fabricante do motor.

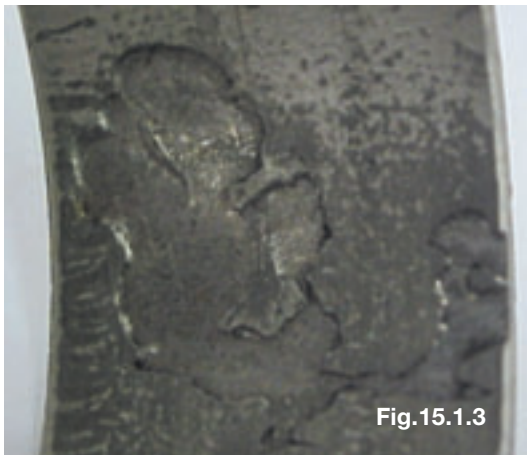


Fig.15.1.3

Fig.15.1.4

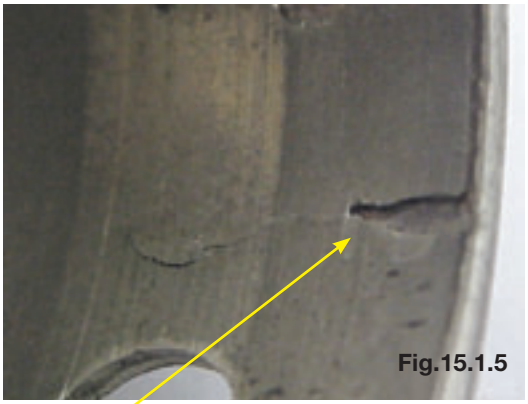


Fig.15.1.5

Fratura da liga

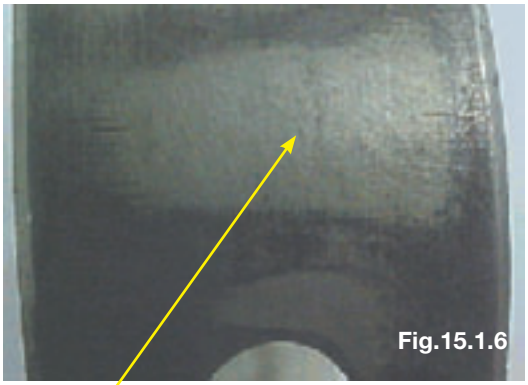


Fig.15.1.6

Marca de apoio irregular da bucha com alojamento

Fig.15.1.7

Marca interna provocada pelo corpo estranho

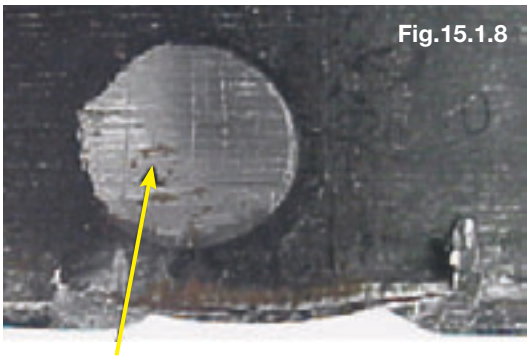


Fig.15.1.8

Marca externa provocada pelo corpo estranho

Embuchamento incorreto

Aspecto

- A superfície externa da bucha apresenta marcas profundas.

Fig.15.1.9

Causas

- Quando da preparação para a instalação da bucha no alojamento, ocorre o desalinhamento entre o centro da bucha e do alojamento, provocando certa inclinação nesta. Como a peça é instalada com interferência no diâmetro externo, ocorrerá o não-assentamento da bucha no alojamento, podendo ocorrer trincas no material desta devido aos esforços envolvidos quando do motor em operação.

Correções

- Utilizar ferramentas adequadas para a instalação das buchas no alojamento.
- Não utilizar a peça deformada.

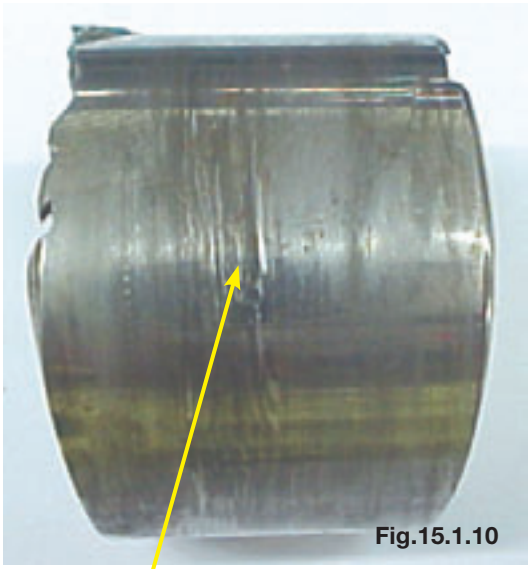


Fig.15.1.10

Marca do embuchamento incorreto

Fig.15.1.11

Marca do embuchamento inclinado

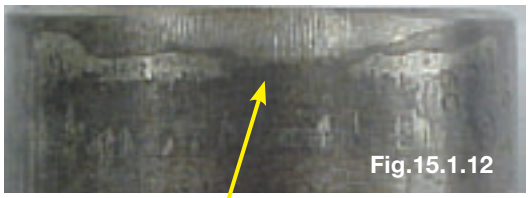


Fig.15.1.12

Marca do embuchamento inclinado

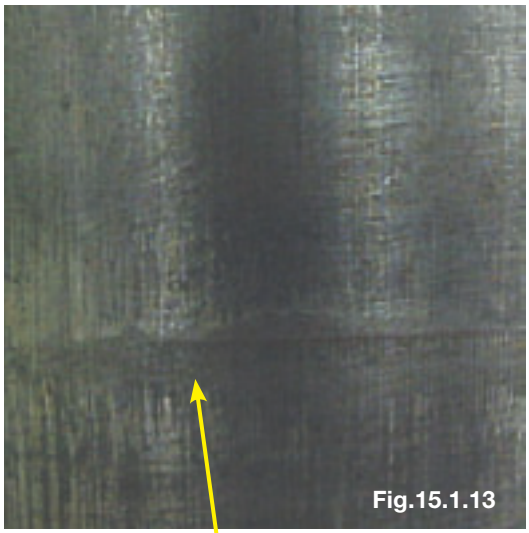


Fig.15.1.13

Marca do embuchamento incorreto

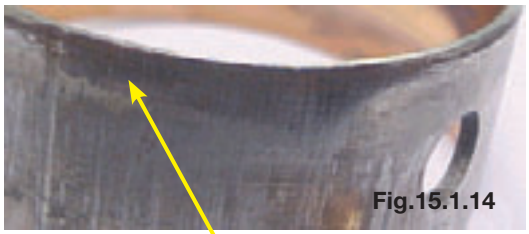
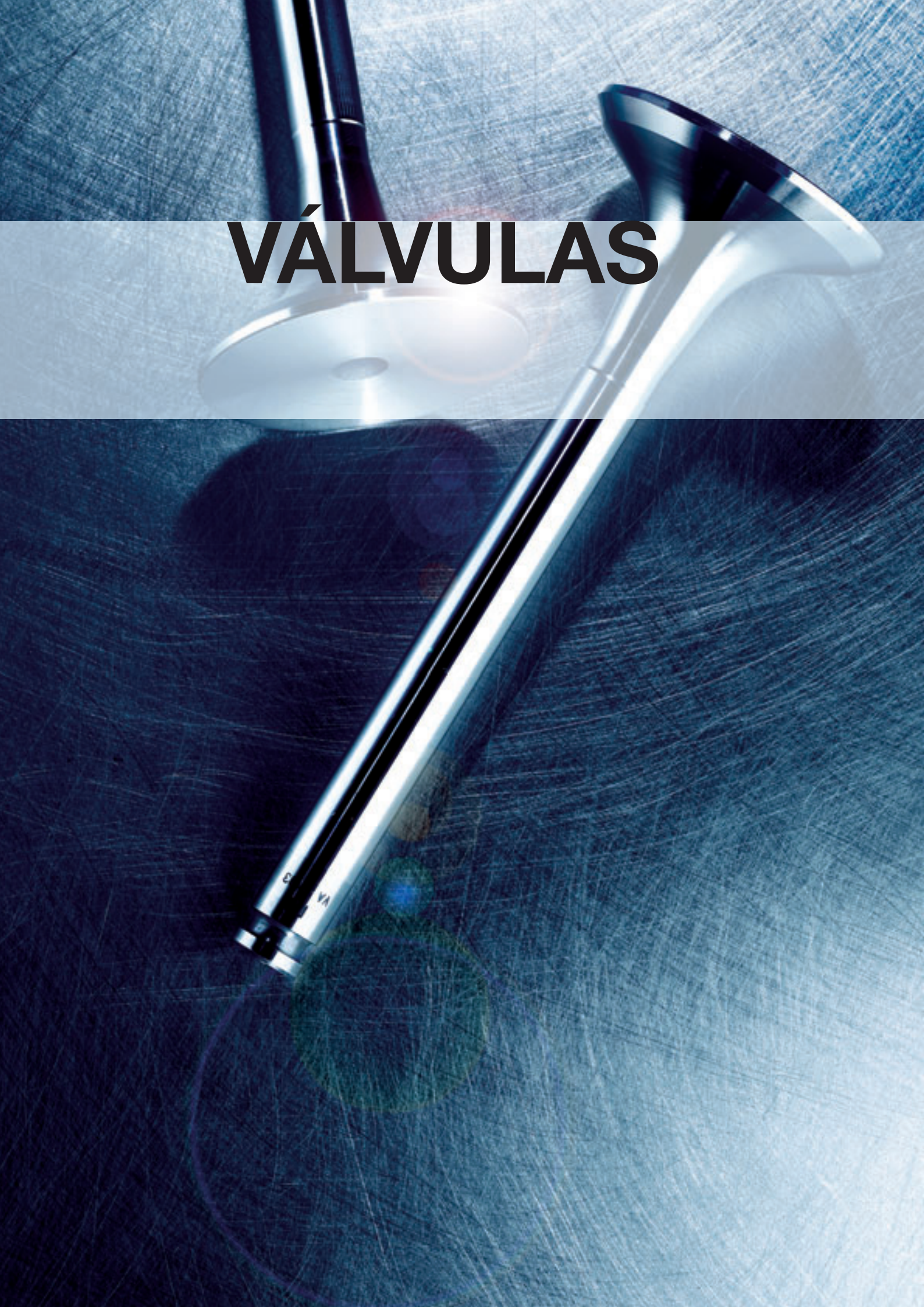


Fig.15.1.14

Marca do embuchamento inclinado

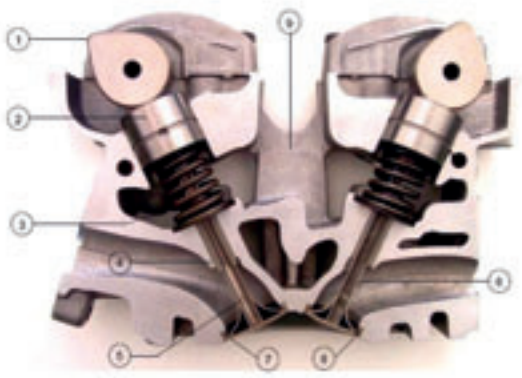


VÁLVULAS

16 — Válvulas

Válvulas são elementos de alta precisão, compostos por ponta, haste e cabeça. São componentes de motores a combustão interna, sujeitos às altas tensões térmicas e mecânicas. Desta forma, são fabricadas por diferentes processos e utilizados desde materiais de baixo teor de carbono até super ligas com blindagem da sede de válvulas. As válvulas também são diferentes em suas formas, aplicações e tamanhos.

As válvulas estão posicionadas, na maioria das vezes, no cabeçote dos motores de quatro tempos (Fig. 16). Em alguns casos, as válvulas de admissão ou escapamento são instaladas no bloco do motor.



1 – Eixo comando admissão
2 – Tucho
3 – Mola
4 – Guia de válvula
5 – Válvula de admissão
6 – Válvula de escapamento
7 – Sede de admissão
8 – Sede de escapamento
9 – Cabeçote

Fig.16

16.1 — Objetivos e princípios de funcionamento

A válvula tem como principais finalidades vedar as áreas de fluxo dos gases no cabeçote e na câmara, e dissipar o calor gerado na combustão, transferindo-o para a sede do cabeçote e para a guia. A abertura e fechamento das válvulas é controlada pelo eixo comando, através dos ressaltos do came. Nos motores em que o eixo comando está posicionado no bloco, o ressalto força o conjunto tucho/vareta/balancim no movimento de abertura da válvula. Ao mudar a posição, o ressalto alivia a pressão no conjunto de acionamento e a válvula retorna à posição de fechamento por expansão da mola.

Nos motores em que o eixo comando se posiciona no cabeçote, o ressalto do came pode atuar diretamente no tucho ou no balancim. Após a mudança de posição do ressalto, nas duas condições, a mola retorna a válvula à posição de fechamento.

16.2 — Nomenclatura da válvula

No intuito de se obter uma padronização no uso das denominações utilizadas para a identificação das partes que compõem uma válvula, foram definidos os principais termos identificados na Figura 16.2.1.

- **Ponta** – É a parte superior da válvula onde se apóia uma das extremidades do balancim ou tucho.
- **Canaletas** – É o local em que se posiciona a trava da válvula, evitando que ela caia para dentro da câmara de combustão. As canaletas podem variar de 1 a 4 por válvula (Fig. 16.2.2).
- **Haste** – É a região da válvula que atua junto à guia (instalada no cabeçote), no posicionamento da válvula durante sua abertura e fechamento.
- **Final frio** – É a parte menos quente da haste, ou seja, a região afastada da cabeça.
- **Final quente** – É a parte quente da haste, pois está mais próxima da cabeça da válvula.
- **Localização da solda** – É a região das válvulas de escapamento em que se encontra a solda por fricção de diferentes materiais da haste e da cabeça (Fig. 16.2.3). As válvulas monometálicas não utilizam este processo de soldagem.
- **Enchimento** – É a região da cabeça da válvula definida durante a fabricação (forjado) ou através de usinagem e retificação (Fig. 16.2.4).
- **Cabeça** – É composta pela sede, ângulo e pelo enchimento.
- **Sede** – É a região de apoio da válvula na sede instalada no cabeçote (Fig. 16.2.5).
- **α** – É o ângulo de assentamento entre a sede e a sede do cabeçote.
- **Face** – É a região inferior da cabeça e que fica dentro da câmara de combustão. Apresentam diferentes configurações de fabricação (Fig. 16.2.6).

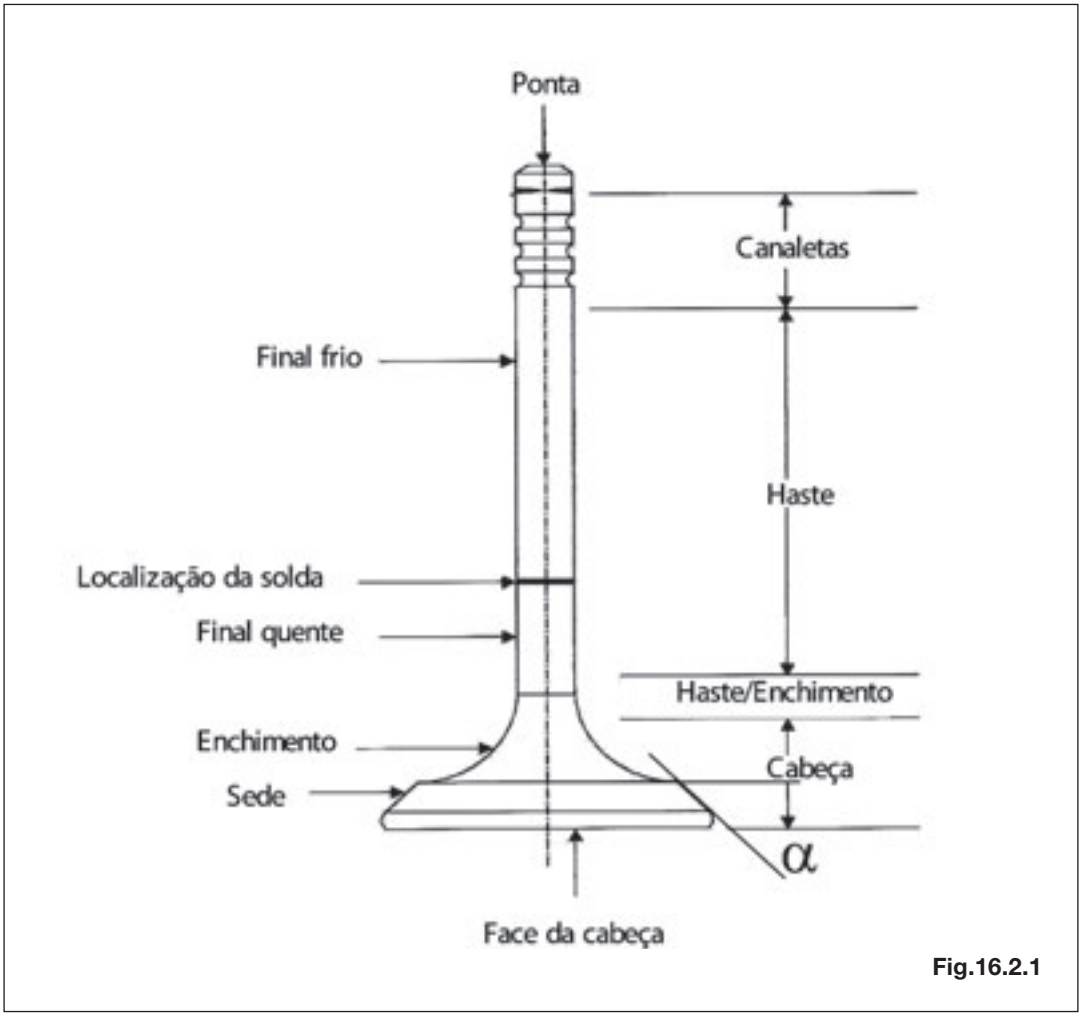


Fig.16.2.1

TIPOS DE CANALETAS

Fig.16.2.2

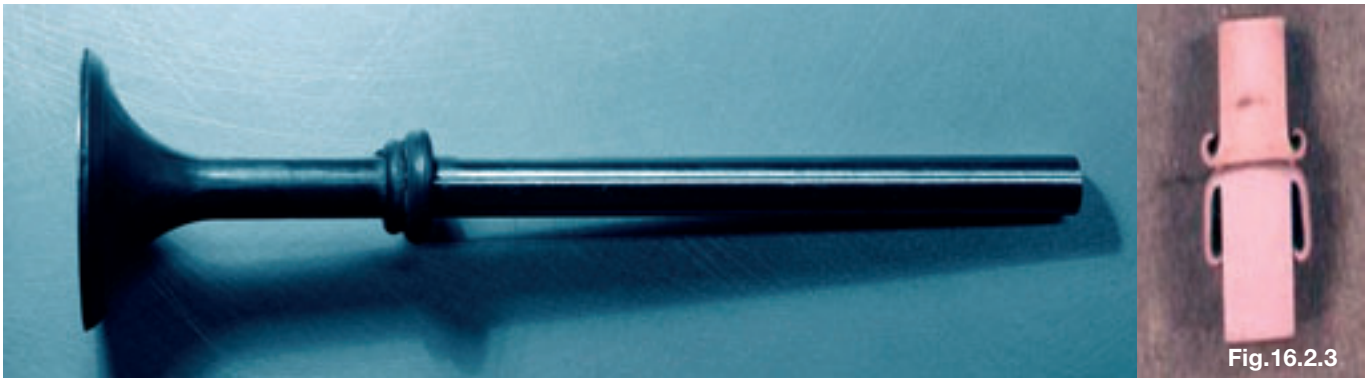


Fig.16.2.3

Região da solda na válvula bimetálica

Fig.16.2.4

Cabeça retificada e sem ser retificada

Fig.16.2.5

Sede da válvula

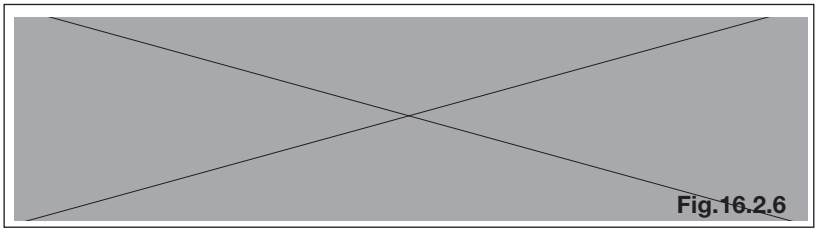


Fig.16.2.6

Diferentes faces da cabeça

16.3 — Processos de fabricação

Para a fabricação das válvulas são utilizados diferentes tipos de materiais.

- **CS** – Aço Baixo Carbono. Utilizado em válvulas de admissão e para haste de válvulas de escapamento (bimetálicas).
- **M** – Aço Cromo Silício. Utilizado em válvulas de admissão e de escape usadas em serviços moderados, também para haste de válvulas de escapamento (bimetálicas).
- **MN** – Aço Cromo Silício Níquel. Utilizado em válvulas de admissão com alta resistência à corrosão e a altas temperaturas.
- **MV** – Aço Cromo Molibdênio Vanádio. Utilizado em válvulas de admissão com alta resistência ao desgaste, à corrosão e às altas temperaturas.
- **A/AB** – Aço Austenítico Cromo Níquel Manganês. Utilizado em válvulas de escape resistentes a severas condições de operação.
- **AN** – Aço Austenítico Cromo Níquel. Utilizado em válvulas de escape resistentes a severas condições de operação.
- **X** – Super ligas utilizadas em válvulas de escapamento.
- **ST** – Ligas utilizadas para a blindagem da sede de válvulas de escapamento, com alta resistência à oxidação, ao desgaste e à corrosão.

Dependendo da solicitação, as válvulas de admissão e escapamento podem ter o endurecimento parcial ou total das pontas, que pode ser por chama ou indução, variando apenas o tempo (Fig. 16.3.2). A ponta pode receber um inserto por soldagem (Fig. 16.3.1).

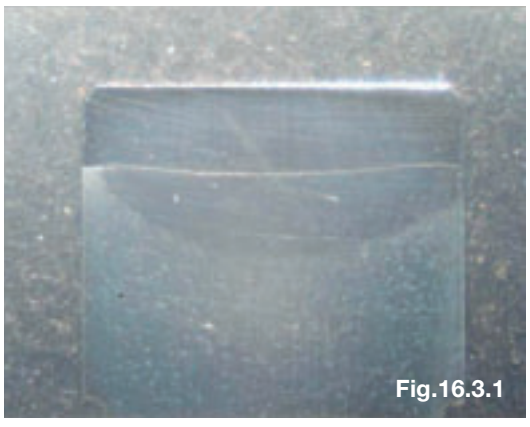


Fig.16.3.1

Inserto soldado na ponta

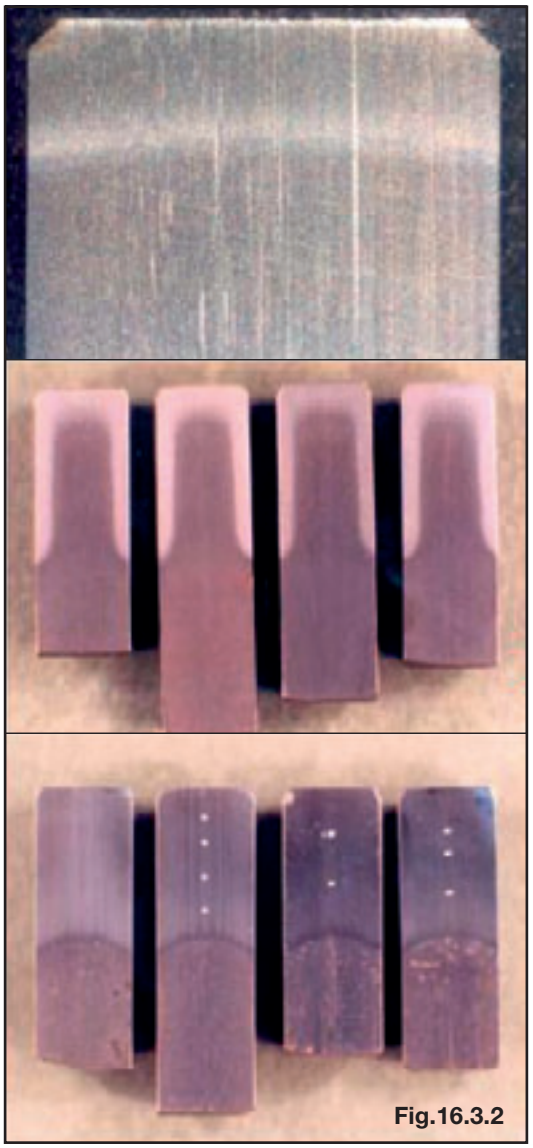
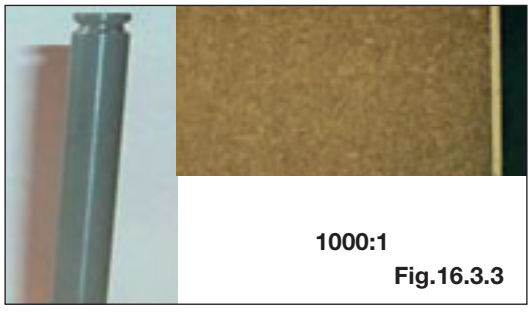


Fig.16.3.2

Endurecimento por tratamento térmico

As hastes produzidas em material de baixo carbono recebem revestimento de cromo duro com espessuras que podem variar de 10 a 25 µm ou receber tratamento de nitretação (Fig. 16.3.3).


1000:1
Fig.16.3.3

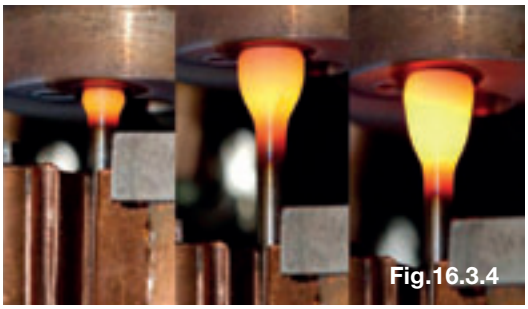
Ampliação da camada de cromo aplicado na haste

As válvulas são produzidas em vários processos

Forja, recalque e estampagem.

O processo consiste na deformação por aquecimento da vareta previamente cortada. A vareta é submetida à compressão e a deformação inicial ocorre na extremidade aquecida da haste (Fig. 16.3.4). Com a deformação atendendo ao tamanho necessário da estrutura da cabeça (Fig. 16.3.5), esta será posicionada na matriz que definirá a forma da válvula (Fig. 16.3.6).

Posteriormente, a cabeça será reaquecida para uma última estampagem, na qual se obtém melhor uniformidade do assento e do material da base (Fig. 16.3.7).



Deformação inicial da vareta

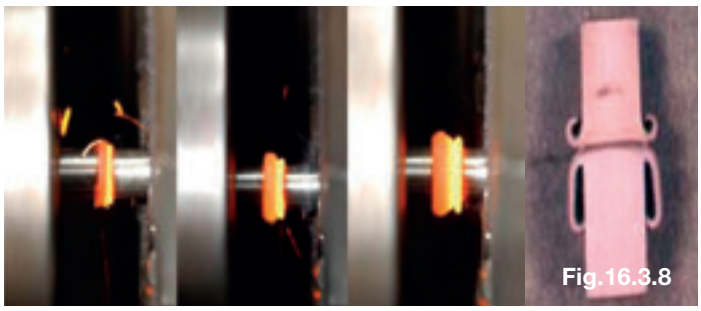
Definição do tamanho da cabeça

Definição da forma geral da válvula

Aquecimento e estampagem final

Soldagem

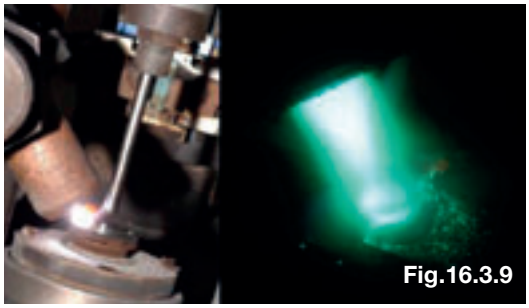
Também neste processo, a vareta é cortada antecipadamente. O próximo passo é colocar, em uma máquina de dois cabeçotes, as duas extremidades do que será uma válvula bimetálica. Após a instalação, é aplicada pressão contrária aos cabeçotes ao mesmo tempo em que giram em sentidos opostos. O atrito gerado aquece as duas partes, fazendo com que se soldem de forma uniforme e sem falhas (Fig. 16.3.8).



Processo de soldagem

Blindagem da sede da válvula (Stelitle)

O processo consiste na blindagem pelo processo de plasma na sede de válvulas (Fig. 16.3.9). O objetivo é propiciar à sede melhor resistência e menor desgaste.



Blindagem da sede da válvula

16.4 — Tipos de válvulas

Existem dois tipos distintos de válvulas quanto às funções: válvulas de admissão e válvulas de escapamento.

As **válvulas de admissão** são as aplicadas na região de entrada de gases no cabeçote. Elas têm como principais funções: controlar a entrada de ar ou ar/combustível para dentro da câmara de combustão do motor e dissipar o calor gerado na combustão. Elas também vedam a câmara de combustão, permitindo que a mistura admitida para dentro desta seja comprimida a ponto de entrar em combustão espontânea (ciclo Diesel) ou forçada, através de centelha (ciclo Otto). Durante o processo da combustão, estas válvulas são submetidas a elevadas tensões na região de contato da sua sede.

Como a válvula de admissão está posicionada na câmara de combustão, existe a necessidade de ser refrigerada. Sua refrigeração ocorre através do ar admitido pelo duto, da troca de calor realizado pela área de apoio da sede da válvula com a sede do cabeçote e pela troca térmica do óleo lubrificante existente entre a guia e a haste da válvula.

As válvulas de admissão são produzidas, em sua maioria, com um só material e por isso são denominadas **monometálicas**.

VÁLVULA OCA

Fig.16.4.1

VÁLVULA COM ENCHIMENTO DE SÓDIO

Fig.16.4.2

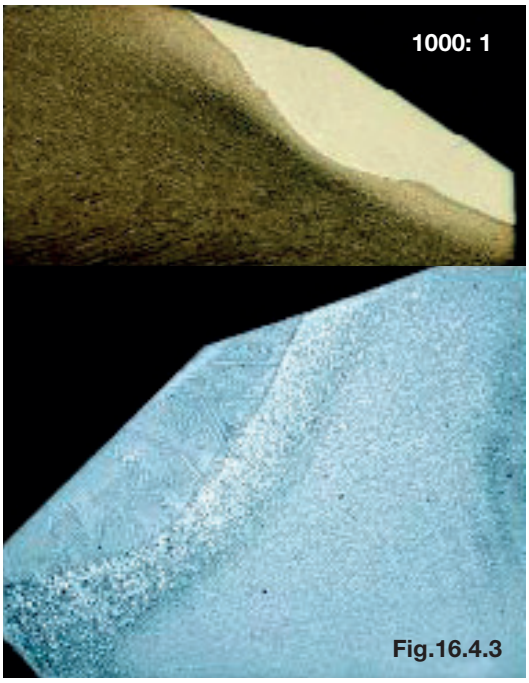
Existem válvulas de admissão denominadas **válvulas ocas** (Fig. 16.4.1). As válvulas ocas têm como principal função o alívio de peso.

O segundo tipo de válvulas são as **válvulas de escape**. Estas válvulas são utilizadas para permitir a saída dos gases queimados durante a combustão. Sua principal função é a de controlar a saída dos gases. Após a combustão na câmara, os gases gerados têm elevada temperatura (superior a 800º C) e são altamente corrosivos. A saída destes gases também ocorre à grande velocidade. Temos então outra função da válvula, que é a troca térmica do calor absorvido através da dissipação entre o contato da sua sede com a sede do cabeçote. O calor, assim como o atrito gerado durante o acionamento da válvula de escapamento, também é minimizado pelo óleo lubrificante existente entre a guia e a haste da válvula.

As **válvulas ocas com enchimento de sódio** (Fig.16.4.2) são utilizadas como válvulas de escapamento. Nas válvulas com enchimento, a haste é um tubo de precisão preenchido parcialmente com sódio. A cabeça é forjada e estampada a frio. Sua função também é reduzir a temperatura em 80º a 150º C.

Em função de sua condição de funcionamento ser mais exigida na região da cabeça da válvula, o material utilizado em sua fabricação deve resistir às elevadas tensões mecânicas e térmicas, à corrosão e ao atrito. Normalmente, em função da severidade de funcionamento, as válvulas de escape são produzidas com dois materiais diferentes e, em muitos casos, a sede da válvula pode receber blindagem (Stelitle).

Para a cabeça das válvulas bimetálicas, são utilizadas super ligas. Em casos severos, utiliza-se blindagem na sede da válvula, através da aplicação de pó de plasma (Fig. 16.4.3).



Ampliação do revestimento aplicado na sede da válvula

17 — Falhas prematuras em válvulas

Características normais de trabalho

A vida útil das válvulas é compatível com a dos demais componentes do motor. Os sistemas de injeção de combustível, lubrificação, arrefecimento e filtração de ar, assim como a operação do equipamento (veicular, agrícola, estacionário, industrial e marítimo), quando em condições normais de funcionamento, contribuem para que as válvulas tenham desgaste normal.

Fig.17

Engripamento da haste de válvulas

Aspecto

- Haste de válvula com marcas de engripamento com a guia. O engripamento ocorrido provoca, em alguns casos, o arraste de material.

Causas

O engripamento da haste com a guia de válvulas ocorre quando a folga existente entre a válvula/guia é comprometida por falhas relacionadas à:

- alinhamento incorreto entre prato/mola, guia e sede de válvulas. O desalinhamento proporciona folga excessiva em determinada região e, em outra, compromete a folga entre a haste/guia a ponto de causar o engripamento (Fig. 17.1);
- aplicação incorreta da folga entre a haste de válvula/guia e vedadores/retentores. Tanto a folga da haste com a guia de válvulas, assim como os vedadores/retentores aplicados incorretamente comprometem o filme de óleo existente entre a haste de válvula e a guia, podendo ocasionar o engripamento com arraste de material (Fig. 17.2);
- operação inadequada do motor. O motor funcionando com sobrecarga/rotação inadequada para a condição de trabalho, também pode comprometer o filme de óleo lubrificante existente entre a haste de válvula e a guia;
- sincronismo incorreto. O atropelamento das válvulas pelos pistões em função do sincronismo incorreto pode provocar o empenamento da haste e, conseqüentemente, o comprometimento da folga entre a haste/guia. O atropelamento pode também comprometer a vedação entre o assento da válvula e a sede do cabeçote (Fig. 17.3);
- resíduos da combustão. Os resíduos de carbono gerados na combustão podem se fixar na parte inferior da haste da válvula, comprometer a folga entre a haste/guia na região e iniciar o engripamento (Fig. 17.4).

Correções

- Verificar o alinhamento entre os componentes: mola/prato/guia/sede. Deve ser conferida a folga, assim como a aplicação correta.
- Verificar o sincronismo, assim como evitar o excesso de rotação do motor.
- Manter as recomendações do fabricante do motor quanto à regulagem do sistema de injeção de combustível (álcool/gasolina/diesel).

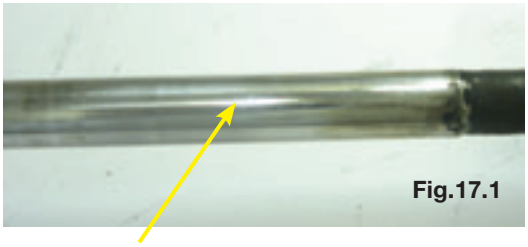
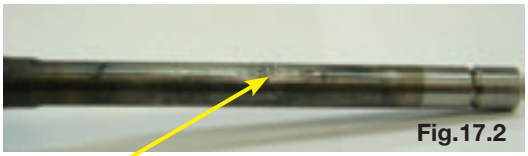
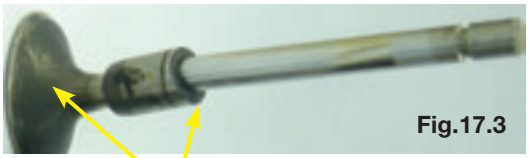


Fig.17.1

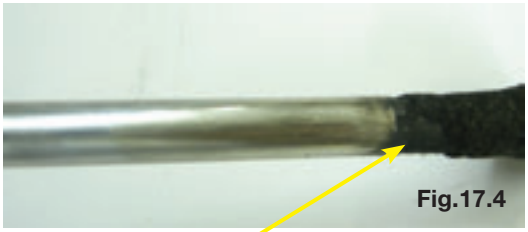
Engripamento na região inferior da válvula



Engripamento com arraste de material



Empenamento devido ao atropelamento da válvula pelo pistão



Engripamento em função de resíduos de carvão fixados na haste

Desgaste da sede da válvula

Aspecto

- O assento da válvula apresenta desgaste excessivo na forma de canal em todo o diâmetro da sede.

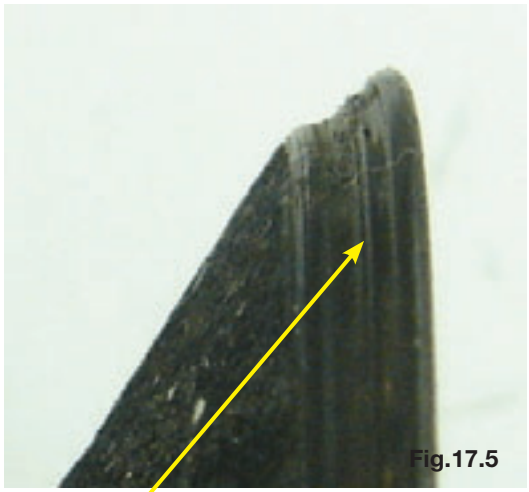
Causas

- O desgaste na região do assento da válvula é ocasionado pelo desalinhamento entre a sede de válvula do cabeçote e a guia. Este desgaste também pode ser provocado pela utilização inadequada de combustível em relação à válvula. Molas de válvulas deficientes também podem provocar o desgaste na região da sede da válvula. A rotação elevada do comando faz com que a válvula flutue (a válvula mal fecha e abre novamente) quando a mola está "fraca" (Fig.17.5 e Fig. 17.6).

Correções

- Verificar o alinhamento entre a sede e a guia de válvulas.

  As molas de válvulas devem ser testadas seguindo as recomendações do fabricante do motor quanto às dimensões das molas em estado livre e quando comprimidas.



Desgaste na região do assento

Desgaste na região do assento da válvula

Fraturas e quebras das válvulas

Aspecto

- A válvula apresenta fratura e quebra total da cabeça na região do raio e haste. Este tipo de falha está relacionada a causas mecânicas.

Causas

- A quebra na região do raio e haste está relacionada ao aumento excessivo da tensão cíclica na haste. O movimento de abertura da válvula é provocado pelo ressalto do came, que além de forçar sua abertura também comprime e fecha a mola. O fechamento da válvula é feito pela parte menor do came do eixo comando e principalmente pela descompressão e abertura das molas. Elevadas rotações provocam a flutuação e o aumento da tensão na região do raio/haste. O atropelamento das válvulas pelo pistão pode ocorrer em função do sincronismo incorreto das engrenagens da distribuição ou ainda da utilização incorreta do freio-motor. Estes são alguns

fatores que comprometem a condição normal de funcionamento da válvula (Fig. 17.7 e 17.8).

Correções

- As molas de válvulas devem ser testadas quanto às suas dimensões, quando submetidas à carga. Devem-se seguir as recomendações quanto aos limites admissíveis. Tanto o sincronismo da distribuição, quanto o excesso de rotação e/ou a utilização do freio-motor devem seguir as recomendações de limites de cada motor/veículo.

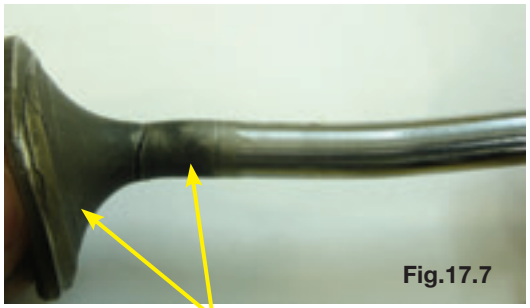


Fig.17.7

Válvula deformada e quebrada na região do raio e haste

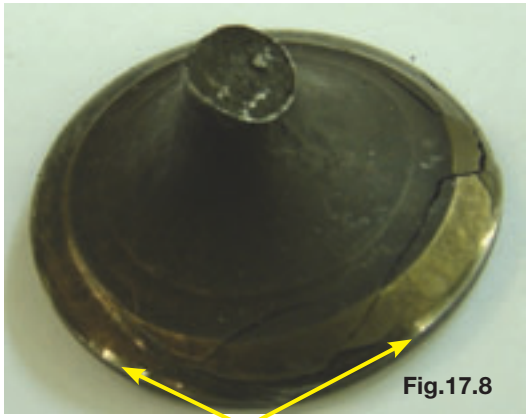


Fig.17.8

Cabeça da válvula quebrada na região do raio e haste

Fratura na região dos canais de travas com a haste

Aspecto

- As válvulas apresentam quebra/fratura ou desgaste na região dos canais de trava. Este tipo de falha está relacionado a causas mecânicas.

Causas

- Durante a substituição das válvulas, não só as molas devem ser inspecionadas e testadas, como também as travas. Podemos considerar os fatores que causam este tipo de falha como sendo irregularidades nos ressaltos do eixo comando e travas danificadas, folga excessiva na regulagem de válvulas e flutuação da válvula (Fig. 17.9 a 17.12).

Correções

- Substituir as travas e testar as molas de válvulas, assim como efetuar a regulagem correta da folga de válvulas.

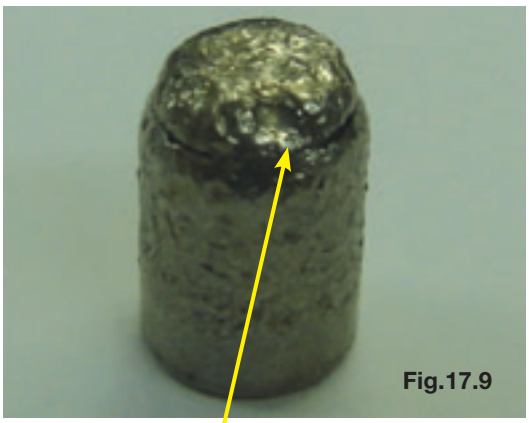


Fig.17.9

Quebra na região do canal de trava

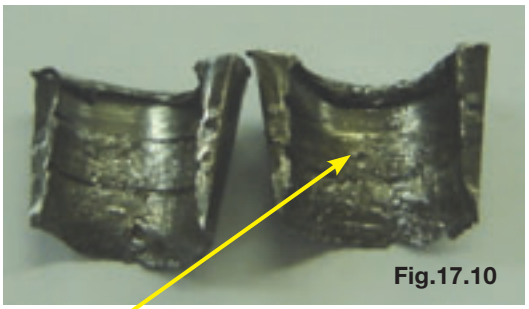


Fig.17.10

Trava danificada

Fig.17.11

Quebra na região do canal de trava

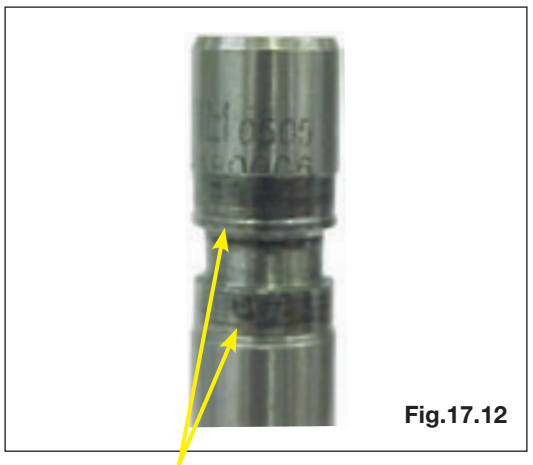


Fig.17.12

Desgaste na região do canal de trava provocado por irregularidade na trava

Trinca e/ou fissura na região da sede de válvulas

Aspecto

- A válvula apresenta trinca/fissura na região da sede da cabeça. Este tipo de falha está relacionado a causas térmicas. Caso a fissura aumente, parte da cabeça vai se desprender (vide item “Fratura na região da cabeça da válvula”).

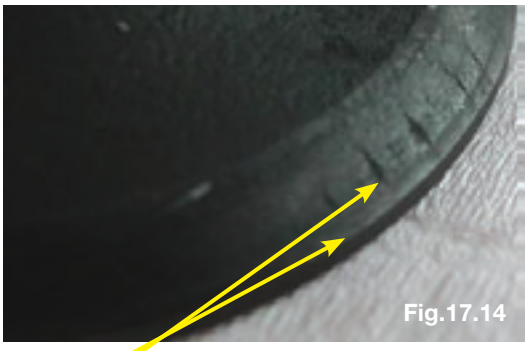
Causas

- A fissura tem início devido a um choque térmico causado pelo aquecimento e resfriamento desproporcionais da cabeça da válvula, provocando fadiga térmica. Desalinhamento entre a haste de válvulas e a sede do cabeçote causa deficiência de apoio, contribuindo para o resfriamento inadequado. A operação incorreta do veículo, assim como a utilização de ponto morto nas descidas, também contribui para a fadiga térmica (Fig. 17.13 e 17.14).

Correções

- Corrigir as deficiências de apoio e de alinha-mento, assim como operar o veículo segundo as recomendações da montadora/fabricante.

Parte da cabeça quebrada



Fissura no assento da válvula

Fratura na região da cabeça da válvula

Aspecto

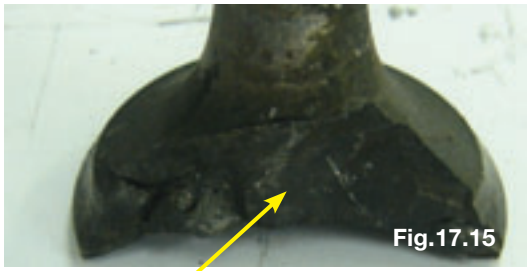
- A válvula apresenta quebra de parte da cabeça. Este tipo de falha está relacionado a causas térmicas.

Causas

- A quebra de parte da cabeça da válvula tem início com uma fissura na região do assento desta, que é originada pelo aumento das pressões de combustão e temperatura na câmara. Este tipo de falha ocorre somente nas válvulas de escapamento e está relacionado à utilização de combustível inadequado, ponto de ignição incorreto, excesso de carvão no topo do pistão, velas inadequadas e válvulas aplicadas incorretamente. O apoio incorreto da válvula com a sede também pode originar a fratura da região da cabeça (Fig. 17.15 e 17.16).

Correções

- Manter as características originais do motor quanto à taxa de compressão do cilindro, utilizar combustível e vela adequados ao motor, manter a curva de permanência recomendada pelo fabricante do motor (motores carburados) e efetuar a correção do assento da válvula em relação à sede.



Quebra de parte da cabeça

Quebra de parte da cabeça

Desgaste generalizado na cabeça da válvula

Aspectos

- A válvula apresenta desgaste na região da cabeça e no assento da válvula. Este tipo de falha está relacionado a causas térmicas.

Causas

- O desgaste está relacionado ao aumento da força de fechamento da válvula combinado com elevadas temperaturas de operação e pressão de combustão. Pré-ignição, detonação, mistura pobre de combustível e relação inadequada de compressão são fatores que alteram e desgastam a cabeça da válvula (Figs. 17.17 e 17.18).

Correções

- Manter as características originais do motor, assim como a taxa de compressão, ponto de ignição/injeção e utilizar combustíveis adequados às especificações do motor.

Fig.17.17

Desgaste na região da cabeça da válvula

Fig.17.18

Desgaste na região da cabeça da válvula

Assento de válvulas queimadas e com desgaste localizado

Aspecto

- A válvula apresenta desgaste na região do assento e estende-se para a região do raio.

Causas

- Excesso de calor localizado na região da cabeça, assim como a passagem de gases concentrada em um só ponto, provocando a desintegração da cabeça da válvula. A vedação irregular do assento da válvula com a sede do cabeçote se dá devido a resíduos de carbono gerados na combustão irregular (mistura pobre). Estes resíduos se alojam na região de sede e comprometem a vedação entre a válvula e a sede do cabeçote. Outro fator é a refrigeração deficiente devido à obstrução parcial dos dutos de arrefecimento do cabeçote. Conseqüentemente, a válvula será resfriada de forma inadequada. Podemos ainda considerar que a folga incorreta de regulagem é outro fator que compromete a vedação e vai propiciar o surgimento deste tipo de falha (Figs. 17.19 e 17.20).

Correções

- Efetuar o assentamento correto, assim como manter a mistura de ar e combustível homogênea e efetuar a limpeza das galerias de arrefecimento do cabeçote, utilizando produtos recomendados pela montadora. Evitar o funcionamento prolongado em marcha lenta.

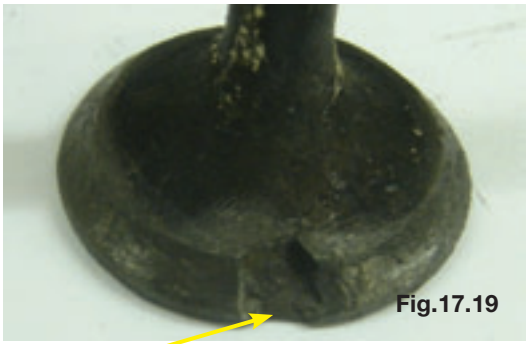


Fig.17.19

Desintegração localizada na região do assento da válvula

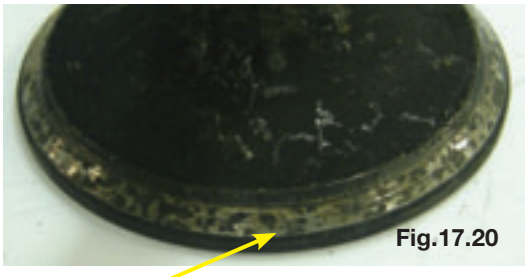


Fig.17.20

Pontos de contaminação do assento da válvula por resíduo de carbono

Vários tipos de irregularidades

Aspecto

- Válvulas com contaminação da sede, marcação de assentamento deslocado, excesso de carvão

na base da válvula e marcação irregular do topo da válvula.

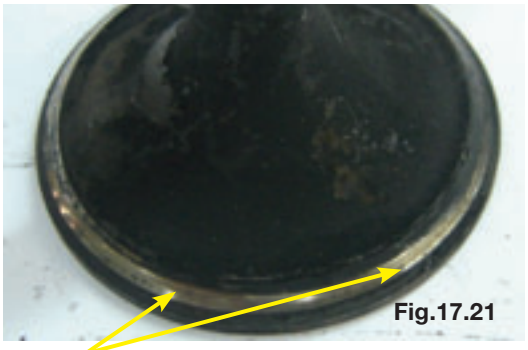
Causas

- A marcação de assentamento irregular é devida à falta de perpendicularidade entre o centro da sede do cabeçote e o centro da guia de válvulas. Esta deficiência vai aumentar a pressão da válvula sobre a sede na região de maior inclinação e permitir a passagem de gases onde a pressão é menor. O excesso de carvão é proveniente da folga excessiva entre a guia de válvulas e a haste, de retentores danificados ou comprometidos, ou ainda da altura incorreta da guia em relação ao cabeçote.

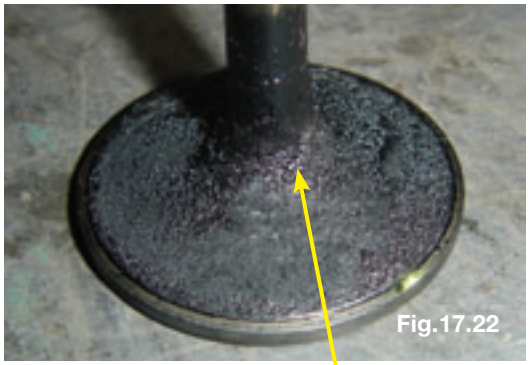
  A marcação irregular no topo é devida à irregularidade do balancim. Tal deficiência não permite a rotação da válvula. Podemos ainda considerar a altura incorreta do cabeçote, provocando o acionamento inclinado da válvula pelo balancim em relação ao centro da sede do cabeçote. Devemos ainda levar em consideração que as sedes do cabeçote devem ser retificadas considerando-se os ângulos. Os valores diferentes entre a sede de válvula e a sede do cabeçote permitem que a válvula se apóie de forma correta quando ocorre a combustão no cilindro (Figs. 17.21 a 17.24).

Correções

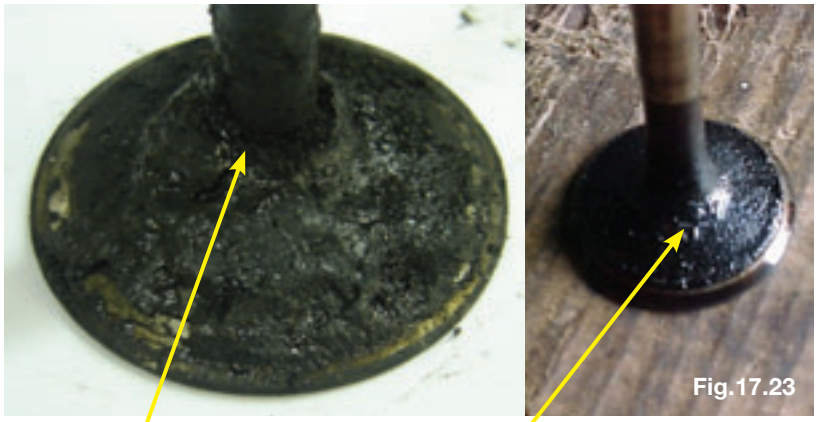
- Manter a perpendicularidade entre a sede de válvulas do cabeçote e a guia. Manter as folgas recomendadas pelo fabricante do motor e proteger o retentor/vedador dos canais de travas das válvulas durante a montagem dos vedadores (quando existirem). Substituir os balancins e não retificá-los, assim como substituir os cabeçotes quando necessário.



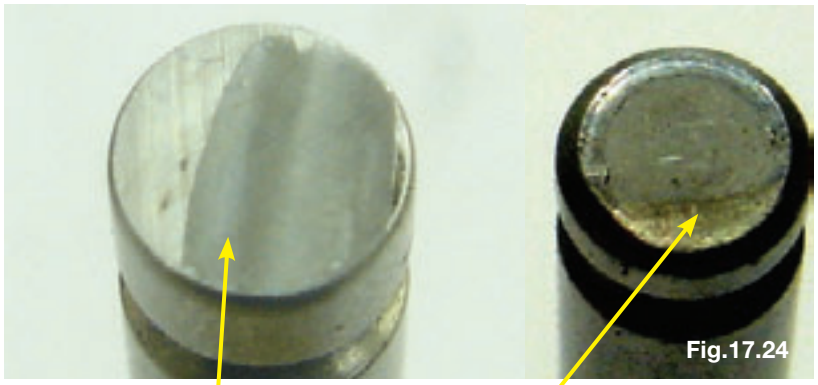
Faixa irregular de assentamento



Válvula de admissão contaminada com óleo lubrificante devido à folga excessiva entre a haste e a guia ou a retentor/vedador deficiente



Válvula de admissão com contaminação de crosta de óleo lubrificante devido à folga excessiva entre guia e haste e/ou à deficiência do retentor/vedador



Marcas que indicam que a válvula não girou. Deficiência do balancim.

TUCHOS

18 — Tuchos

Tucho é um elemento mecânico de movimento alternado. São peças fundidas, usinadas e recebem diferentes tipos de tratamento térmico.

18.1 — Objetivos e princípios de funcionamento dos tuchos

Em motores que têm o eixo comando no bloco, o objetivo do tucho é atuar como elemento intermediário entre o eixo comando e o balancim, na abertura e fechamento das válvulas (Fig.18.1.1).

Nesta condição, a base do tucho se mantém em contato com o comando (separados apenas por uma película de óleo lubrificante). Na vareta de válvulas, uma de suas pontas se posiciona dentro do tucho. A outra ponta se apóia em uma das extremidades do balancim. Na outra extremidade está a válvula. A abertura desta ocorre quando o ressalto do came eleva o tucho, que por sua vez transmite o movimento para a vareta, forçando o balancim a acionar a válvula, vencendo a força da mola. Quando o ressalto passa pelo tucho, a pressão exercida sobre a mola diminui e ela efetua o fechamento da válvula.

MOTORES COM EIXO COMANDO NO BLOCO

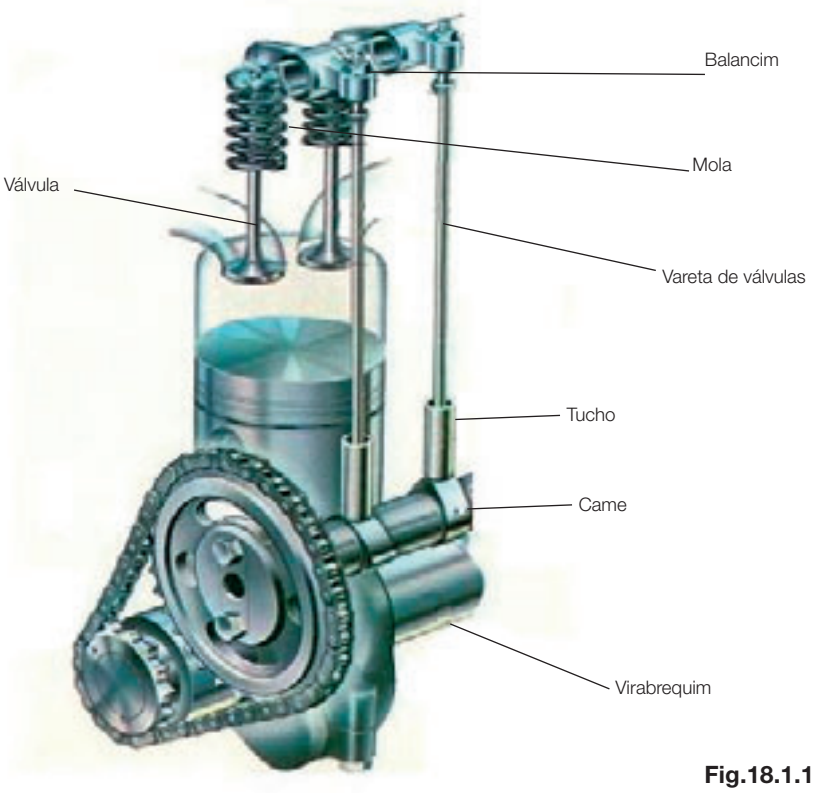


Fig.18.1.1

MOTORES COM EIXO COMANDO NO CABEÇOTE

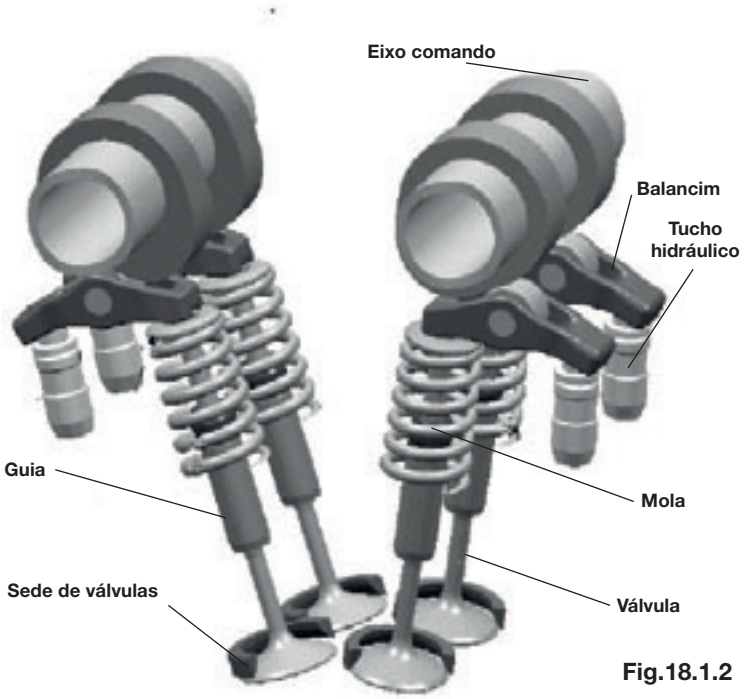
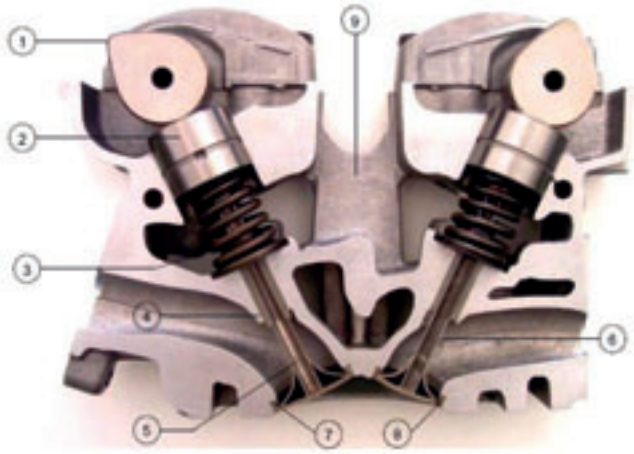


Fig.18.1.2

MOTORES COM EIXO COMANDO NO CABEÇOTE POSICIONADO EM CIMA DO TUCHO



1 – Eixo comando admissão
2 – Tucho hidráulico
3 – Mola
4 – Guia de válvula
5 – Válvula de admissão
6 – Válvula de escapamento
7 – Sede de válvula de adm. do cabeçote
8 – Sede de válvula de esc. do cabeçote

Fig.18.1.2

Em motores que têm o eixo comando no cabeçote, o objetivo do tucho é o de manter o balancim pressionado contra o came do eixo comando durante a abertura e fechamento das válvulas de admissão e escapamento (Fig. 18.1.2).

Nesta condição, o tucho (hidráulico) se apóia em uma das extremidades do balancim. No centro ou próximo ao centro, estão o came do eixo comando e na outra extremidade, a ponta da válvula. O ressalto do came atua diretamente sobre o balancim, forçando-o contra a válvula até que a pressão da mola é vencida e a válvula abre. Quando o ressalto passa pelo balancim, a pressão exercida sobre a mola diminui e a válvula fecha.

Em alguns motores que possuem o eixo comando no cabeçote, os tuchos (mecânicos) estão localizados entre o came e a ponta das válvulas, atuando diretamente na abertura e no fechamento (Fig. 18.1.2).

Nesta condição, temos dois tipos de tuchos:

- **tucho mecânico** – apóia-se no próprio came, na região da base e na ponta da válvula, na região interna. O ressalto do came atua diretamente sobre o tucho, forçando-o contra a válvula até que a pressão da mola é vencida e a válvula abre. O fechamento da válvula ocorre quando o ressalto passa pelo tucho.

- **tucho hidráulico** – o funcionamento é o mesmo. A diferença é que a folga atuação hidráulica compensa a folga entre o came e o tucho.

18.2 — Nomenclatura dos tuchos

Com o objetivo de se obter uma padronização no uso das denominações utilizadas para a identificação das partes que compõem o tucho, foram definidos os principais termos identificados nos diferentes tipos de tuchos, nas seguintes figuras: Tucho Prato (Fig. 18.2.1), Tucho Cilíndrico (Fig. 18.2.2) e Tucho Hidráulico (Fig. 18.2.3).

NOMENCLATURA TUCHO PRATO

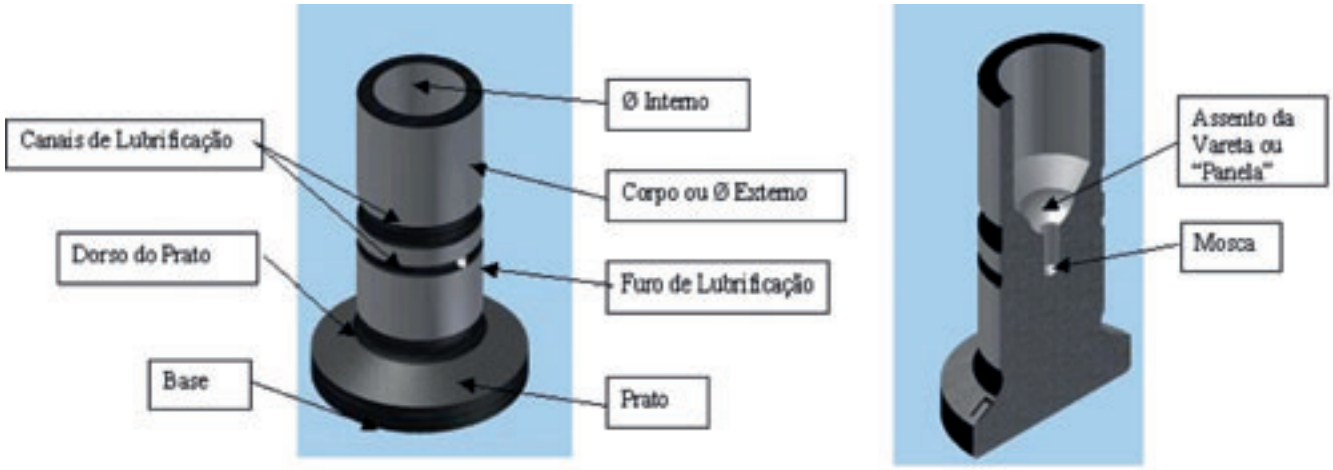


Fig.18.2.1

NOMENCLATURA TUCHO CILÍNDRICO

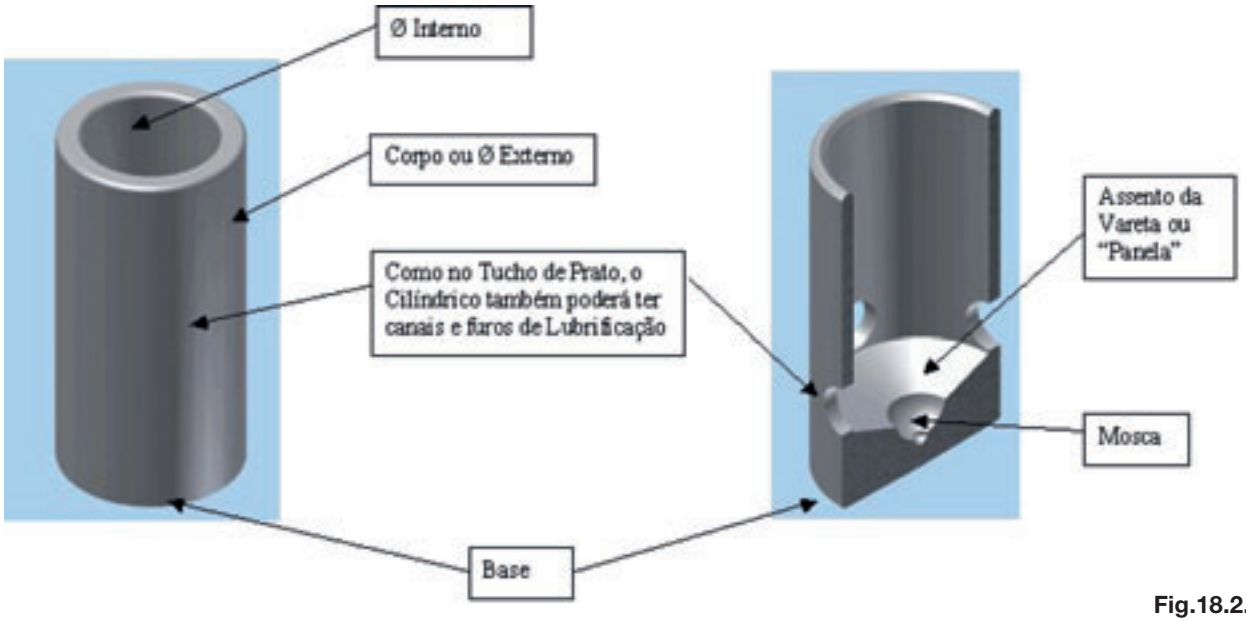

Ø Interno
Corpo ou Ø Externo
Como no Tucho de Prato, o Cilíndrico também poderá ter canais e furos de Lubrificação
Base
Assento da Vareta ou "Panela"
Mosca

Fig.18.2.2

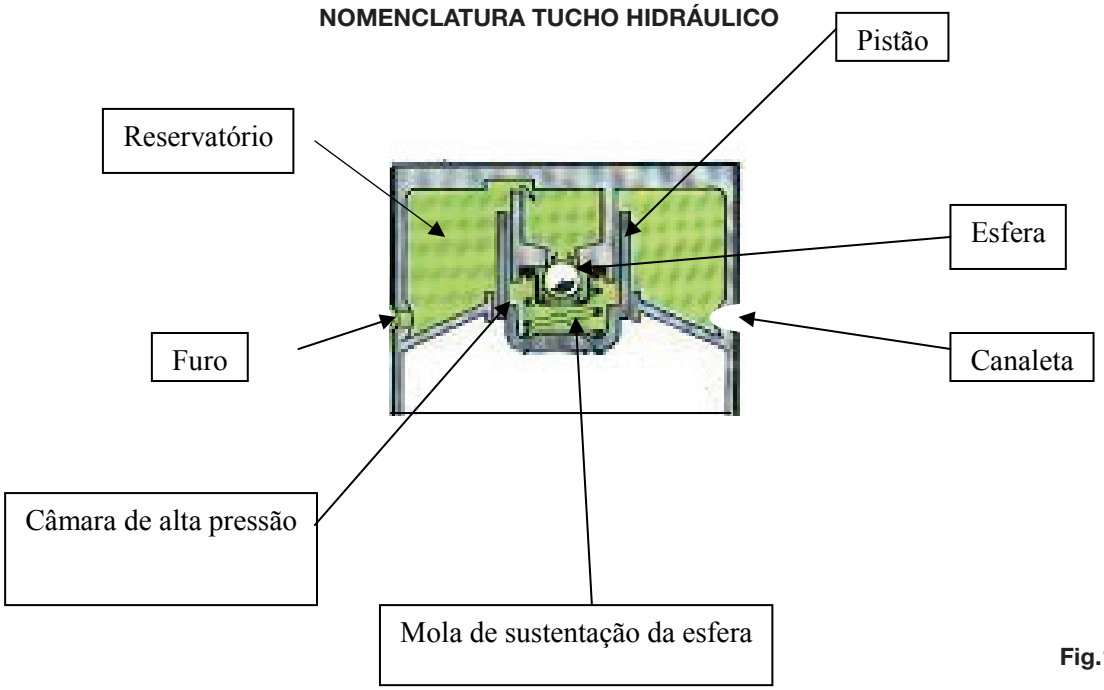


Fig.18.2.3

18.3 — Tecnologia dos tuchos

O material empregado na fabricação é o ferro fundido cinzento e são normalmente obtidos pelo processo Shell Mold. Após a fundição, os tuchos passam pelo processo de jateamento com granalhas de aço, desbaste do corpo, base e diâmetro do prato, usinagem na parte interna, tratamento térmico (quando necessário), lapidação da base, tratamento superficial de fosfatização em tuchos temperados (quando especificado) ou nitretação em tuchos não temperados (quando especificado) e acabamento do corpo.

Dependendo da aplicação e especificação do cliente, os tuchos poderão ser coquilhados ou não. Quando for necessário que os tuchos sejam coquilhados, poderão receber ou não tratamento de têmpera.

Com o resfriamento brusco, na região coquilhada, tem-se o ferro fundido branco, que confere melhores propriedades ao desgaste.

Nos tuchos não coquilhados, para se obter maior dureza superficial, é obrigatória a utilização da têmpera na base (região de trabalho). Esta têmpera pode ser em óleo, água e martêmpera, ou ainda por indução.

Tratamento térmico em tuchos

São vários os tratamentos térmicos utilizados na fabricação dos tuchos, realizados segundo o tipo de tucho, especificação do fabricante do motor e solicitação a que são submetidos.

- **Alívio de tensões:** consiste na redução da temperatura e posterior resfriamento ao ar durante período predeterminado. O alívio de tensão é utilizado em alguns tuchos coquilhados brutos e sua finalidade maior é facilitar a usinagem.
- **Têmpera:** consiste no endurecimento da superfície de trabalho. Por exemplo, têmpera em óleo. É realizada em tuchos coquilhados pré-usinados (quando especificado) e tuchos não coquilhados. Sua finalidade é aumentar a resistência de todo o tucho.
- **Sub-zero:** consiste em diminuir a temperatura do tucho para –90ºC, para posteriormente ser aquecido ao ar. O objetivo é o endurecimento do tucho através da transformação da austenita retida (existente após a têmpera) em martensita. A austenita retida é instável, podendo se transformar durante o funcionamento do motor

e, conseqüentemente, o tucho ter o dimensional alterado. A instabilidade dimensional não é desejada neste tipo de peça.

- **Revenimento:** consiste em elevar a temperatura e depois resfriar ao ar. O objetivo é tirar as tensões da têmpera e/ou sub-zero, obtendo a martensita revenida. Todos os tuchos passam pela têmpera e revenimento.
- **Tratamento supercial:** este tratamento é aplicado ao tucho no final das operações de retífica (quase acabado), faltando apenas acabamento no diâmetro, ovalização e retífica fina.

São três as opções de tratamentos superficiais.

- **Azulação:** trata-se da aplicação de camada oxidada artificialmente, de espessura aproximada de 2 microns. Esta camada tem o objetivo de evitar o engripamento e desgaste do tucho, no início do funcionamento do motor, quando as galerias de lubrificação ainda não estão com óleo. A cor azulada é dada pelo vapor de água.
- **Azulação especial (nitretação + azulação):** trata-se da aplicação de duas camadas. A primeira camada é nitretada saturada dentro da peça, com espessura de 4 a 12 microns. A segunda camada tem espessura de 2 microns e é oxidada por deposição. O objetivo é aumentar a resistência superficial da base (região de trabalho).
- **Nitrocarburação:** é similar ao processo de azulação especial, com diferença apenas no gás utilizado durante o processo. O objetivo também é aumentar a resistência superficial da base.

Obs.: os tratamentos superficiais são aplicados em tuchos não temperados.

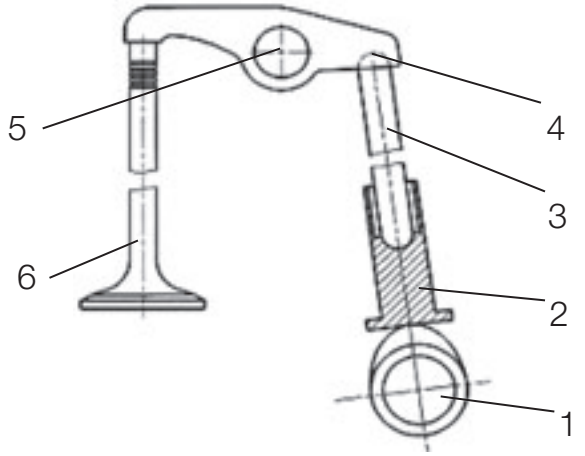
- **Fosfatização:** consiste na aplicação de camada protetora na superfície do tucho, com espessura de 5 microns. A fosfatização é utilizada em peças comuns, peças temperadas já acabadas e, principalmente, em tuchos temperados. O objetivo da fosfatização é evitar o engripamento entre duas peças novas, o tucho e o eixo comando.

Obs.: tanto a nitretação quanto a fosfatização têm a função de suportar o início de trabalho do motor (amaciamento), sem que o tucho sofra desgaste normal. Entretanto, a nitretação confere uma resistência maior do que a fosfatização, pois a camada nitretada possui uma microdureza da ordem de 500 Vickers, enquanto a fosfatização confere uma lubricidade maior, devido aos cristais de fosfato de manganês.

18.4 — Tipos de tuchos

Podemos definir o tipo de tucho a ser utilizado em um motor, através da localização do eixo comando. Os tuchos podem ser mecânicos ou hidráulicos, tanto para o eixo comando posicionado no bloco como no cabeçote (Figs.18.4.1, 18.4.2, 18.4.3 e 18.4.4).

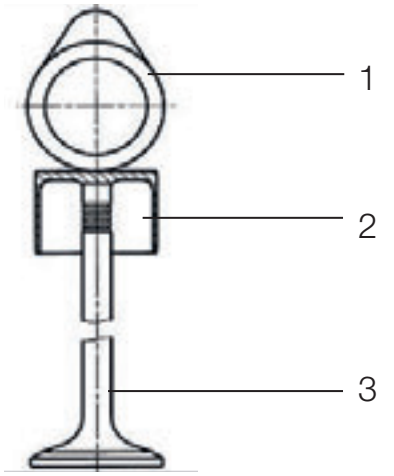
ESQUEMA DE ACIONAMENTO DE TUCHO MECÂNICO



1 – Eixo comando
2 – Tucho mecânico
3 – Vareta de válvulas
4 – Balancim
5 – Eixo balancim
6 – Válvula

Fig.18.4.1

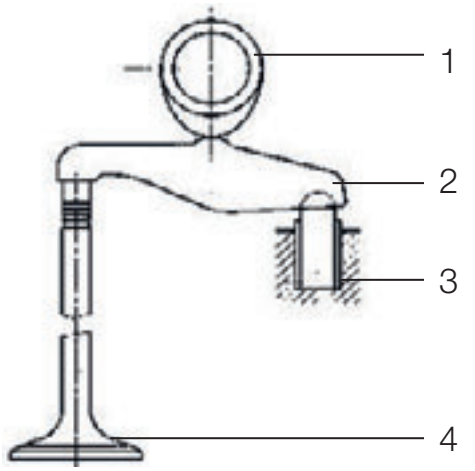
ESQUEMA DE ACIONAMENTO DE TUCHO MECÂNICO



1 – Eixo comando
2 – Tucho mecânico
3 – Válvula

Fig.18.4.2

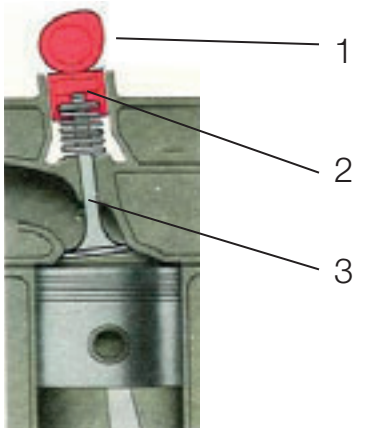
ESQUEMA DE ACIONAMENTO DE TUCHO HIDRÁULICO



1 – Eixo comando
2 – Balancim
3 – Tucho
4 – Válvula

Fig.18.4.3

ESQUEMA DE ACIONAMENTO DE TUCHO HIDRÁULICO



1 – Eixo comando
2 – Tucho hidraúlico
3 – Válvula

Fig.18.4.4

19 — Falhas prematuras em tuchos

Todas as peças móveis dos motores em que incluímos os tuchos sofrem desgastes normais durante a vida útil do motor. Para tal condição de desgaste é necessário que os sistemas de lubrificação e filtração, assim como alguns componentes, apresentem condições funcionais de utilização. Quando estes fatores associados atendem as especificações, os tuchos e demais componentes atendem a expectativa de vida útil do motor. A figura indica a região da mosca com apoio uniforme da ponta da vareta (Fig. 19.1).

Fig.19.1

Tucho mecânico com desgaste normal de funcionamento

Desgaste da base

Aspecto

- A base do tucho apresenta desgaste excessivo.

Causas

- O desgaste da base ocorre quando o filme de óleo lubrificante existente entre o tucho e o ressalto do came é ineficiente ou inexistente (Fig. 19.2).
- O desgaste também pode ocorrer devido à regulagem incorreta da folga de válvulas (válvula presa).
- Em alguns tuchos, o óleo lubrificante chega até a mosca e ao corpo, por galerias de lubrificação existentes no bloco e/ou pelas varetas de válvulas. Folga excessiva do alojamento e varetas de válvulas com a ponta danificada e/ou empenadas dificultarão a chegada do óleo lubrificante até a mosca e o corpo do tucho. Óleo lubrificante com viscosidade alterada devido à deterioração dos aditivos que o compõem também comprometerá o filme e danificará a base (Fig. 19.3).

Correções

- Verificar as folgas dos alojamentos dos tuchos no bloco, assim como os cames, mantendo as dimensões recomendadas pela montadora. Os componentes deverão ser substituídos caso não atendam as orientações dimensionais.
- Verificar empenamento das varetas de válvulas, assim como desgaste das pontas.

Fig.19.2

Desgaste na região da base

Fig.19.3

Desgaste excessivo da base

Desgaste na região da base

Aspecto

- A base do tucho apresenta pontos em que o material foi retirado.

Causas

- A retirada de material da base do tucho tem o nome de Pitting. Este dano ocorre na base dos tuchos devido à regulagem incorreta da folga das válvulas (válvula presa) (Fig. 19.4).

- Outra possibilidade é a de que tenha ocorrido aplicação incorreta do tucho. Podemos conside-

rar também como fator que contribui para esta deficiência o reaproveitamento das molas de válvulas. As molas, com o acionamento durante o funcionamento do motor, perdem a capacidade de retornar a válvula em tempo suficiente de efetuar o isolamento da câmara com a sede do cabeçote, chegando a “flutuar”. Este repique é transmitido para o balancim/vareta (quando existir) e posteriormente para o tucho. Desta forma, além das condições desfavoráveis de funcionamento já citadas no item "Desgaste da base" , teremos esta que também comprometerá o filme de óleo a ponto de provocar o contato entre as superfícies e, conseqüentemente, o Pitting na face do tucho (Fig. 19.5).

Correção

- Manter as regulagens e inspeções recomendadas para cada motor. Efetuar teste recomendado nas molas de válvulas.

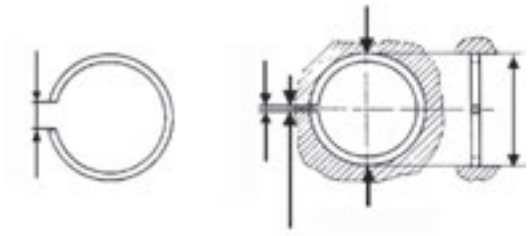


Fig.19.4

Pitting ocorrido somente no centro da base

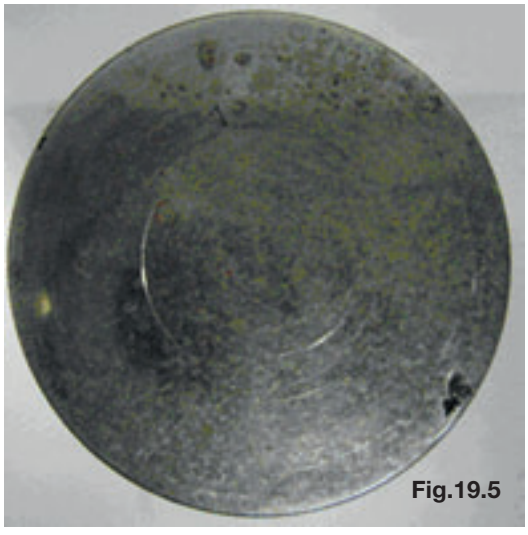


Fig.19.5

Várias regiões da base com ocorrência de Pitting

Deformação de ressalto do came

Aspecto

- Os tuchos apresentam desgaste e esmagamento na região da base.

Causas

- O reaproveitamento inadequado de comando ou mesmo de balancim causa deformações e desgaste nos tuchos em função da má distribuição das forças atuantes na base/ressalto (Fig. 19.6 a 19.9).

Correções

- Verificar o desgaste dos ressaltos do came e balancim.

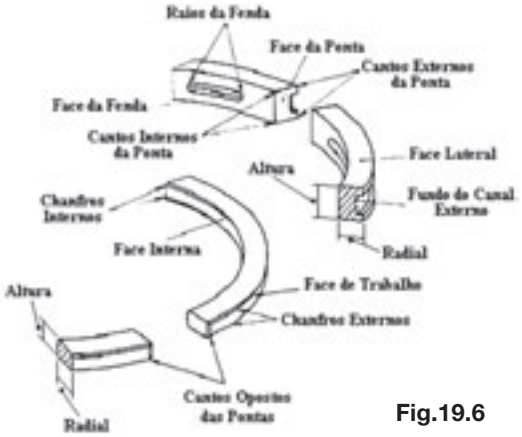


Fig.19.6

Desgaste e deformação da base

Fig.19.7

Ressalto danificado

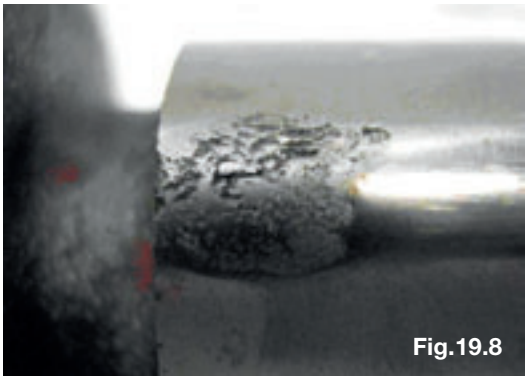


Fig.19.8

Detalhe do ressalto

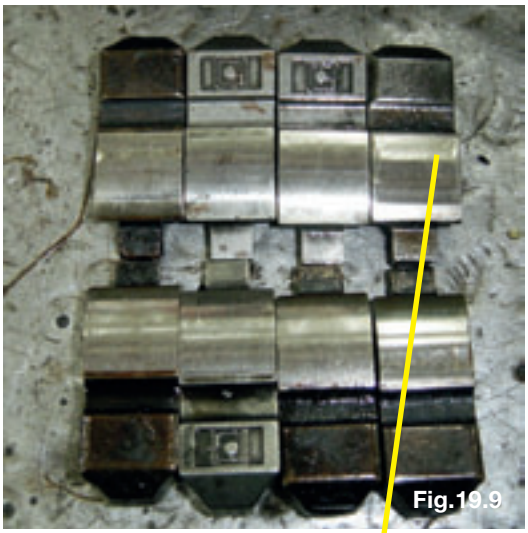


Fig.19.9

Jogo aplicado de balancim com diferentes etapas de desgaste

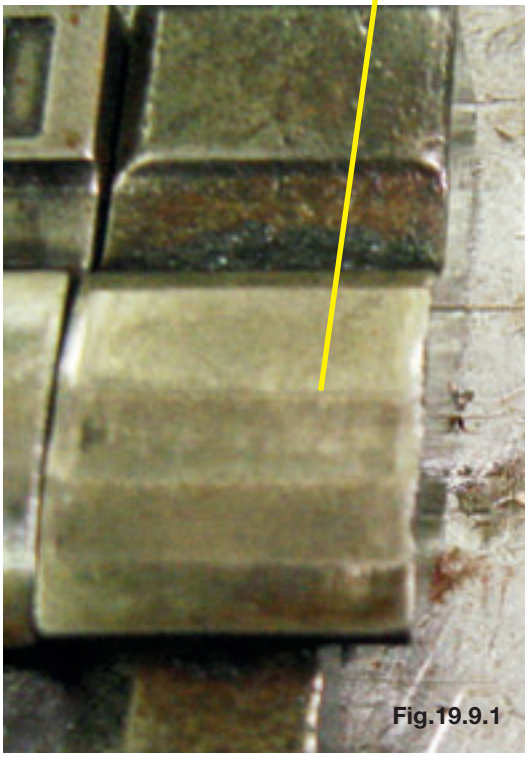


Fig.19.9.1

Detalhe do desgaste

Quebra de tucho

Aspecto

- Os tuchos apresentam a parte superior do corpo quebrada. Também pode ocorrer quebra parcial/ total da base.

Causas

- A utilização de varetas de válvulas empenadas ou até mesmo com as pontas desgastadas. Quando do acionamento do tucho, os pontos de apoio entre a mosca e o balancim são alterados (não mais a 180º) a vareta passa a apoiar-se na região interna do tucho, gerando esforços na parede (Figs. 19.10 a 19.14). A quebra da base está relacionada, associadas ou não, com as causas dos itens “Desgaste do prato”, “Pitting na região do prato” e “Deformação de ressalto do came”.

- A operação incorreta do motor também pode provocar a quebra dos tuchos. Como exemplo, podemos citar a rotação excessiva. Nesta condição, a mola não tem tempo suficiente de fechar a válvula, quando recebe o impacto do topo do pistão, provocando o empenamento da vareta. Outros danos são provocados nos pistões, válvulas, tucho e eixo comando, além das varetas.

Correções

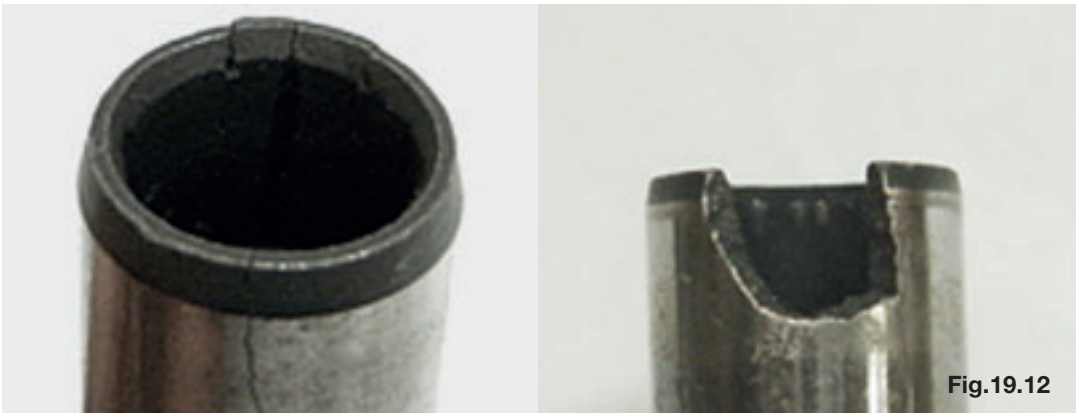
- Verificar desgaste das pontas das varetas, assim como o seu empenamento, substituindo-as quando necessário.

Fig.19.10

Jogo com alguns tuchos quebrados

Fig.19.11

Mesmo jogo com Pitting na base



Detalhe da quebra do diâmetro interno

Detalhe de desgaste e quebra da base

Mosca com apoio irregular da vareta de válvulas

ENGRENAGEM SINTERIZADA

20 — Engrenagem sinterizada

20.1 — Objetivos e princípios de funcionamento

Nos motores de concepção mais moderna, a sincronização entre o eixo virabrequim e o eixo comando de válvulas é feita através de engrenagens sincronizadoras fabricadas em aço sinterizado e interligadas por correia dentada de borracha.

20.2 — Tecnologia das engrenagens sinterizadas

Todos os motores com esta concepção mecânica possuem obrigatoriamente as seguintes engrenagens:

- engrenagem (movida) do eixo comando de válvulas;
- engrenagem (motora) do eixo virabrequim.

Em alguns casos, porém, outras engrenagens, com outras finalidades, são introduzidas no sistema, tais como:

- engrenagens para acionamento de eixos intermediários;
- engrenagens para acionamento de bomba injetora (motores diesel).

Fabricação

O processo de fabricação de peças sinterizadas possui três etapas básicas.

- Primeiramente, o pó do metal ou liga é misturado com outros metais e lubrificantes até produzir uma mistura homogênea.

- Na etapa seguinte, uma quantidade dessa mistura de pó é introduzida em um molde e comprimida, à temperatura ambiente, a pressões entre 150 a 800 N/mm^2, dependendo da densidade final desejada para a peça.

  Essa operação conforma o pó em uma peça normalmente chamada de "compactado à verde" (Fig. 20.2.1).

  Essa peça compactada já possui o formato e as dimensões finais, quando removida do molde.

- Numa terceira etapa, a de sinterização, o "compactado à verde" é aquecido à alta temperatura em ambiente de atmosfera controlada, porém sempre abaixo do ponto de fusão do metal. Este processo desenvolve a ligação metalúrgica das partículas, garantindo as propriedades físicas e mecânicas da peça (Fig. 20.2.2).

  Dependendo do projeto, a peça pode ainda ser reprensada, ou passar por processo de impregnação ou tratamento térmico para melhorar as propriedades mecânicas e/ou reduzir a sua porosidade.

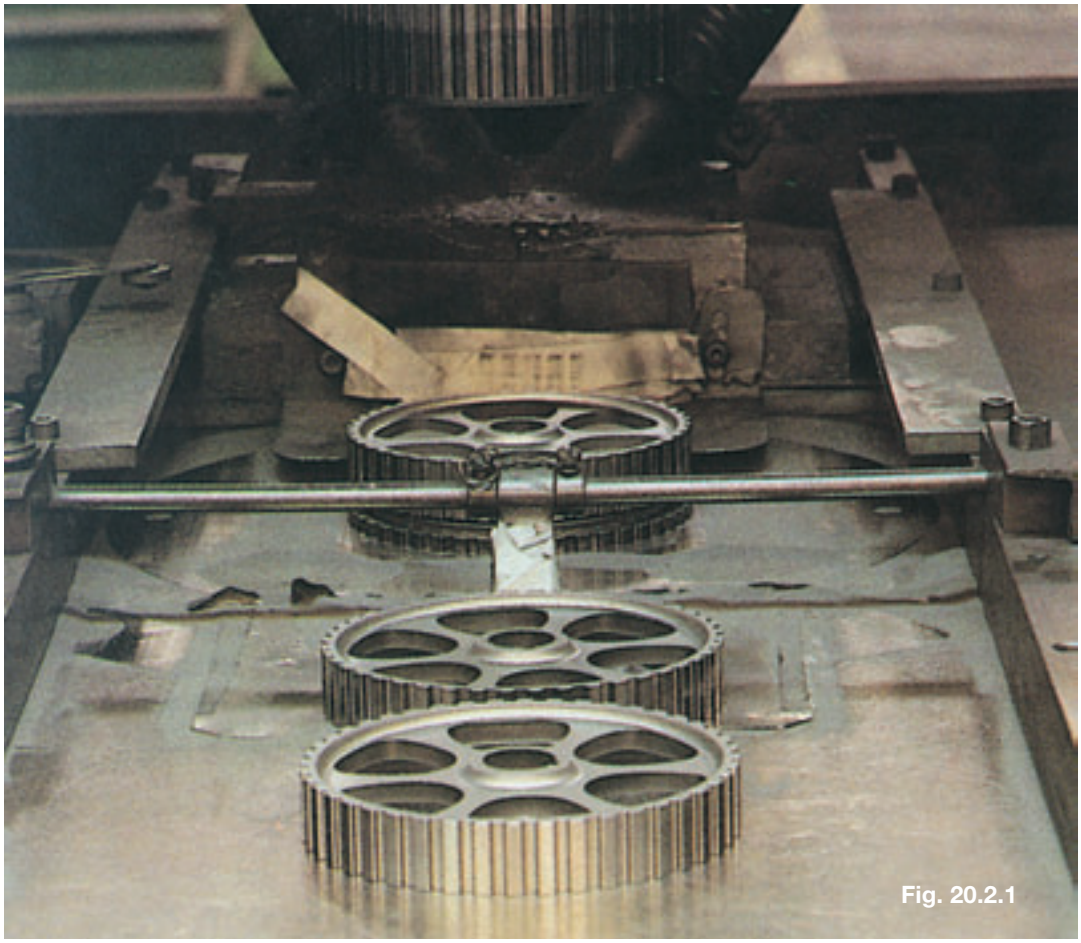


Fig. 20.2.1

Fig. 20.2.2

TURBOCOMPRESSOR

21 — Turbocompressor

Turbocompressor é um componente externo ao motor, mecanicamente independente e termodinamicamente integrado com ele. Composto por um conjunto central, envolvido por duas carcaças: carcaça do compressor e carcaça da turbina (Fig. 21.1).

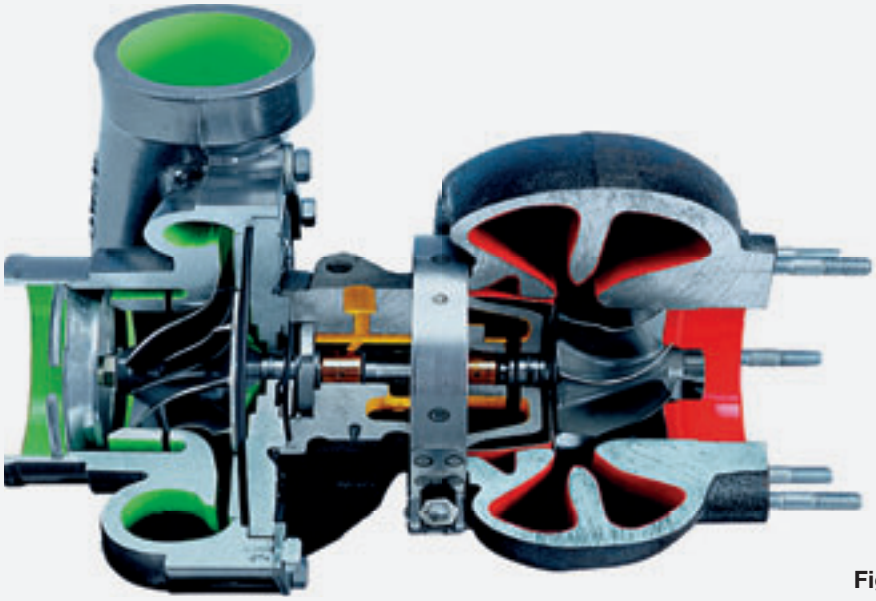


Fig. 21.1

Turbocompressor

21.1 — Objetivos e princípios de funcionamento

Nos motores à combustão interna, a mistura de ar/combustível é admitida para dentro da câmara de combustão, separadamente nos motores Ciclo Diesel e em conjunto nos motores Ciclo Otto. Com o início da combustão na câmara, parte da temperatura e dos gases expandidos empurra o pistão para baixo, iniciando o movimento do eixo virabrequim. Outra parte se perde em forma de calor.

Grande parte do volume de gases gerados é expulsa da câmara através das válvulas de escapamento.

Os principais objetivos de utilização do turbocompressor em motores normalmente aspirados são:

- Aumento de potência específica.
- Aproveitamento de 100% dos gases gerados na combustão.
- Compensador da perda de potência devido a altitudes.
- Melhor retomada.
- Redução na emissão de CO_2 – produto ecológico.
- Economia do custo/benefício.
- Redução do nível de ruído.
- Melhor relação ar/combustível.

O turbocompressor tem a função de sobrealimentar o motor. Durante o funcionamento, o fluxo

dos gases (com pressão, velocidade e temperatura) gerados na combustão sai pelos dutos de escapamento. O fluxo de gases é direcionado para a carcaça da turbina (Fig. 21.2) e movimenta o eixo rotor da turbina e o rotor compressor (Fig. 21.3) posicionados nas extremidades do eixo. O rotor compressor aspira o ar devidamente filtrado e o comprime da carcaça compressora (Fig. 21.4) para dentro da câmara de combustão. Quanto maior o volume de ar admitido, maior será a quantidade de gases a movimentar o rotor da turbina.

O eixo rotor é montado na carcaça central (Fig. 21.5) e sustentado por dois mancais flutuantes (Fig. 21.6).

A lubrificação e sustentação hidrodinâmica é realizada através de dutos que conduzem o óleo lubrificante para os respectivos mancais.

A lubrificação (derivado da lubrificação do motor) chega por meio de galerias alinhadas com os furos dos mancais radiais, promovendo a lubrificação e refrigeração do conjunto.

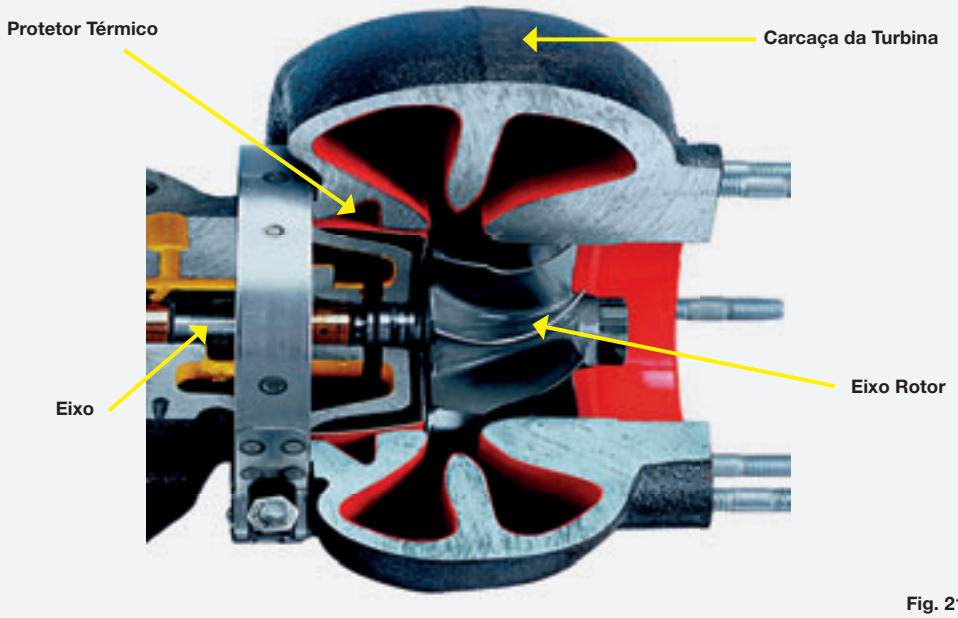


Fig. 21.2

Fig. 21.3

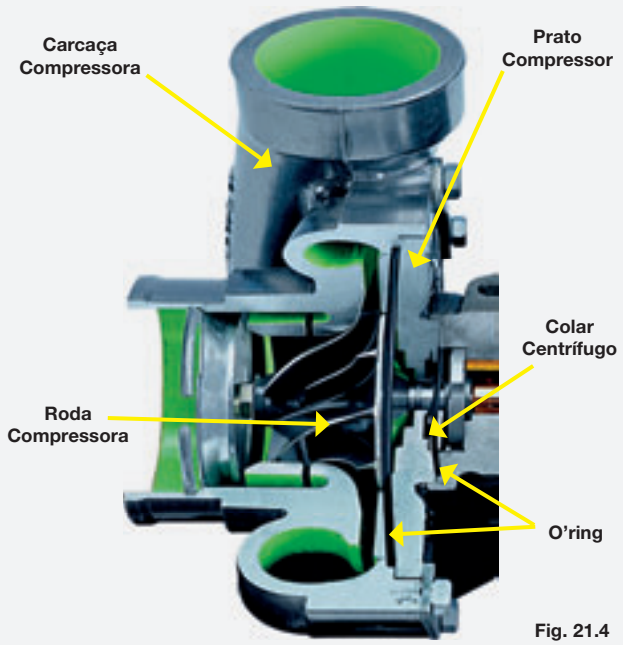


Fig. 21.4

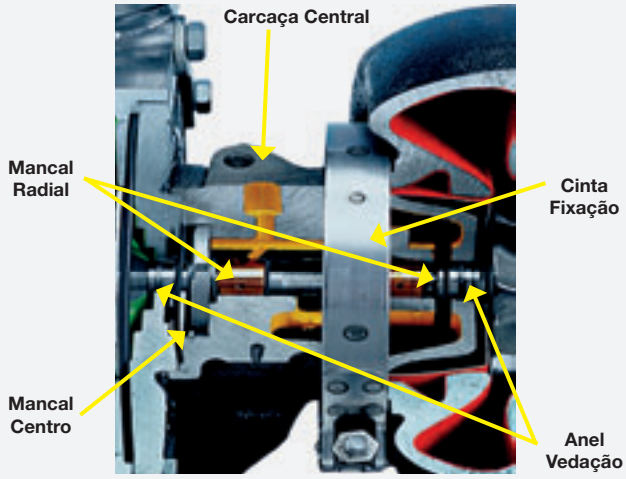


Fig. 21.5

O óleo lubrificante retorna por gravidade para o cárter (Fig. 21.7).

Para evitar a contaminação do rotor da turbina, do compressor e a passagem de gases para a carcaça central, vedações são instaladas em cada lado do eixo entre o mancal radial e o rotor correspondente.

Para atender à demanda de novos motores de maior potência, mais econômicos e menos poluentes, foram desenvolvidos novos turboalimentadores com dispositivos para controlar a pressão e aumentar a eficiência em diferentes faixas de rotação. Também foram desenvolvidos novos turbos.

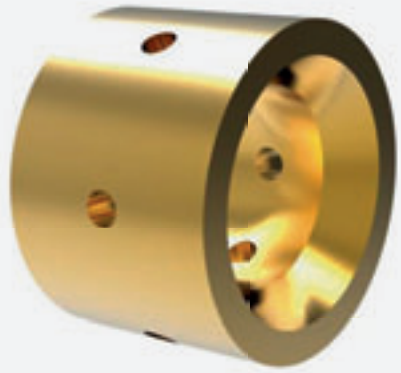


Fig. 21.6

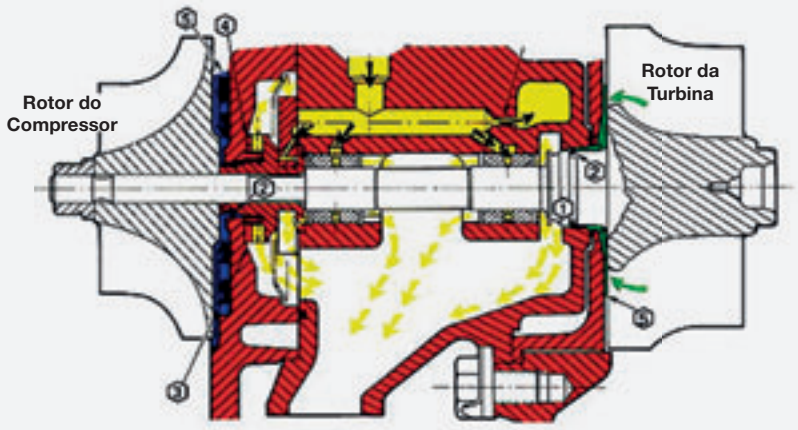


Fig. 21.7

Válvula Wastegate

Calibrada, cuja função é regular a pressão de sobrealimentação, evitando danos ao turbo e motor (Fig. 21.8).

- Atua aliviando a pressão do turbo e consequentemente a vazão de ar que vai para o motor, permitindo melhor combustão e desempenho, principalmente em baixas rotações, ou seja, reduzindo a emissão de poluentes nesta faixa.
- Na falta de regulagem, a válvula Wastegate fica totalmente aberta e consequentemente não atua, causando perda de desempenho.
- Com regulagem errada para MENOS, a válvula abre facilmente e perde desempenho, e para MAIS não abre na pressão desejada, ocasionando o aumento de pressão no compressor e na rotação do turbo.

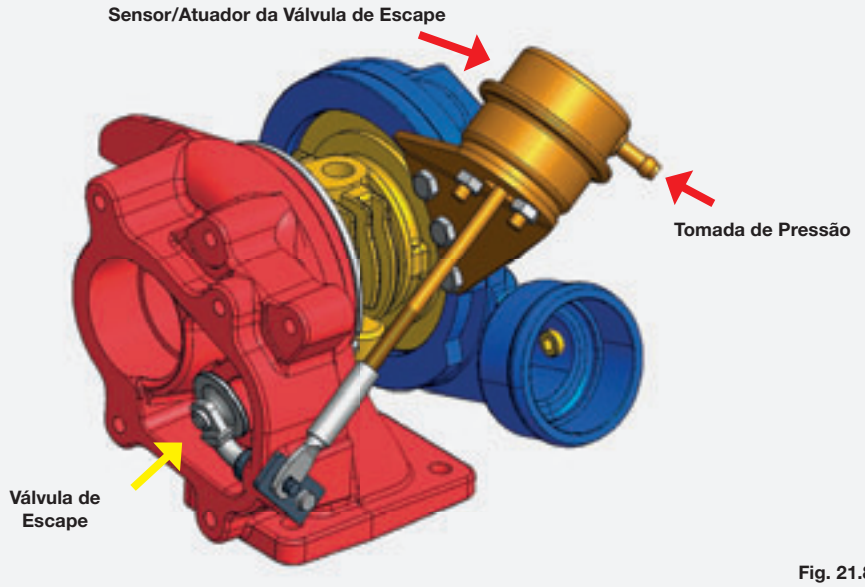


Fig. 21.8

Turbocompressor de Geometria Variável (TGV):

A pressão de alimentação fornece alto torque para baixas rotações do motor. A pressão de alimentação é regulada para evitar sobrecarga do motor em rotações mais baixas, controle da potência da turbina através de aletas guias ajustáveis (Fig. 21.9 e 22.0).

- O mecanismo de geometria variável da turbina regula a pressão do turbo pelo ajuste das palhetas, independentemente da velocidade do motor. A fim de fornecer alta pressão de alimentação em baixa rotação, as palhetas-guia são posicionadas em uma seção de entrada estreita. Isto resulta no fluxo de escapamento que se desloca a velocidade elevada. O aumento da energia cinética dos gases de escape é transferido para a turbina, aumentando a velocidade de rotação.
- Em rotações elevadas do motor, as palhetas liberam grande entrada de ar, assim como aumenta o fluxo dos gases de escape. Consequentemente, o fluxo de entrada de ar no interior das lâminas da turbina e de saída dos gases diminui a uma rotação menor do motor.

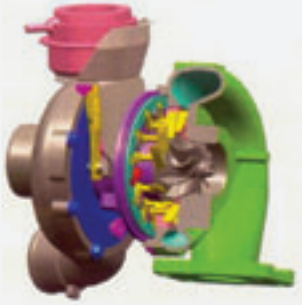


Fig. 21.9

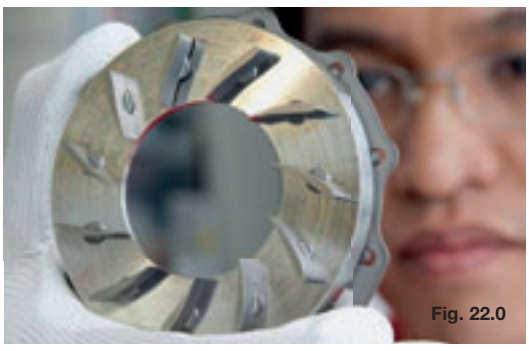


Fig. 22.0

22 — Falhas prematuras em turbocompressores

Todos os componentes periféricos que complementam o motor têm vida útil. Os turbocompressores não são diferentes e com o decorrer do período de vida útil do motor, da manutenção realizada, da aplicação, também apresentarão vida útil de maior ou menor período.

Admissão de corpo estranho/filtro saturado

Aspecto

- Rotor compressor apresenta desgaste das palhetas (Fig. 22.1), marcas de impacto com corpo estranho (Fig. 22.2).

Fig. 22.1

Fig. 22.2

Causas

- Os danos no rotor compressor ocorrem por meio do sistema de filtração do ar. Esse sistema é composto pela caixa e filtro do ar, mangotes, abraçadeiras. Caixas do ar danificadas ou com má vedação danificam o filtro do ar (Fig. 22.3) a ponto de permitir a passagem de partículas/pó para o intercooler, turbo e motor. As mangueiras e mangotes rasgados e/ou danificados também permitem a passagem de contaminantes para a admissão (Fig. 22.4).

- Outras causas: não utilização de filtros, limpeza inadequada dos dutos e do intercooler, e filtros saturados. Os danos causados no rotor compressor podem desbalancear o conjunto, aumentar as folgas e tanto o rotor compressor como o rotor da turbina podem passar a ter contato com as respectivas carcaças.

Fig. 22.3

Correções

- Substituir o filtro do ar.

- Efetuar manutenção adequada do sistema de filtração do ar.

- Substituir caixas do ar, mangueiras, mangotes e abraçadeiras danificadas.

- Limpar dutos de ar e intercooler, substituindo quando necessário.

Fig. 22.4

Expulsão de corpo estranho

Aspecto

- Rotor da turbina apresenta marcas de impacto com corpo estranho que saiu do motor (Fig. 22.5).

Causa

- Os danos no rotor da turbina ocorrem com o desprendimento de partes internas do motor que, ao passar pelas válvulas de escapamento, coletor de escape, atingem e danificam o rotor da turbina. Os danos causados podem desbalancear o conjunto, aumentar as folgas e tanto o rotor compressor como o rotor da turbina passam a ter contato com as respectivas carcaças.

Correções

- Efetuar limpeza adequada dos dutos de escapamento.
- Identificar a origem do corpo estranho que danificou as palhetas.

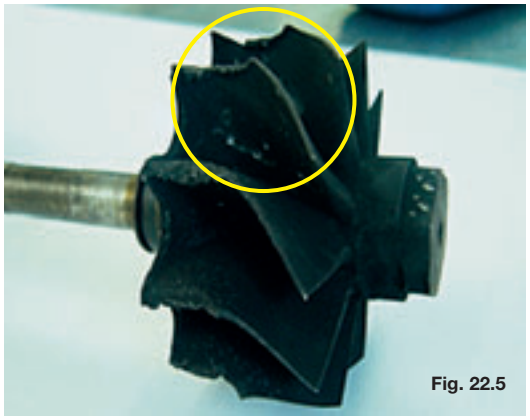


Fig. 22.5

Insuficiência de lubrificação

Aspectos

- Folga excessiva no eixo rotor, contato do rotor da turbina e do rotor compressor com as respectivas carcaças (Fig. 22.6, 22.7 e 22.8).
- Cor azulada do eixo na região dos mancais (Fig. 22.9).
- Turbocompressor com ruído.
- Desbalanceamento do conjunto.
- Vazamento de óleo.
- Emissão de fumaça azul.
- Perda de potência.

Causas

- A utilização do óleo lubrificante por períodos acima do recomendado para a troca, assim como a utilização de óleo com especificação abaixo da recomendada para o motor.
- Duto de entrada do óleo lubrificante amassado/danificado ou instalado incorretamente.
- Bomba de óleo lubrificante e/ou válvula de alívio com baixa vazão/pressão.
- Parada brusca do motor com a turbina em rotação elevada.

Correções

- Utilizar óleo lubrificante segundo recomendações do fabricante.
- Desobstruir ou substituir dutos de lubrificação.
- Substituir bomba e válvulas do óleo lubrificante.

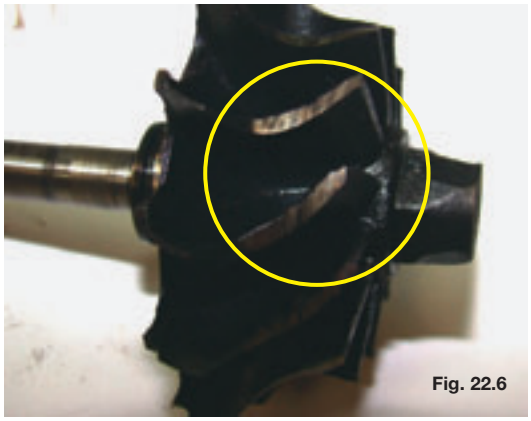


Fig. 22.6

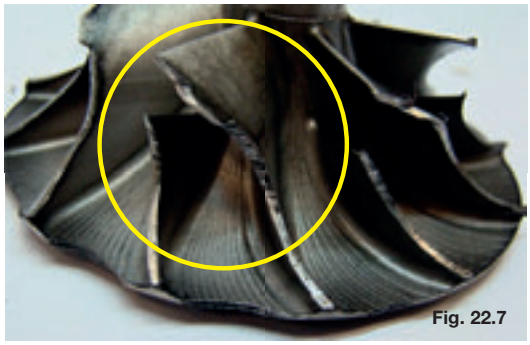


Fig. 22.7

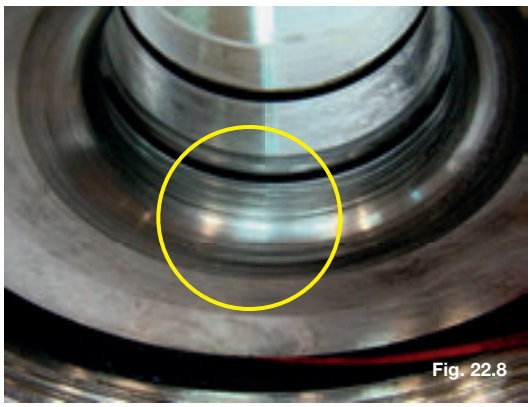


Fig. 22.8

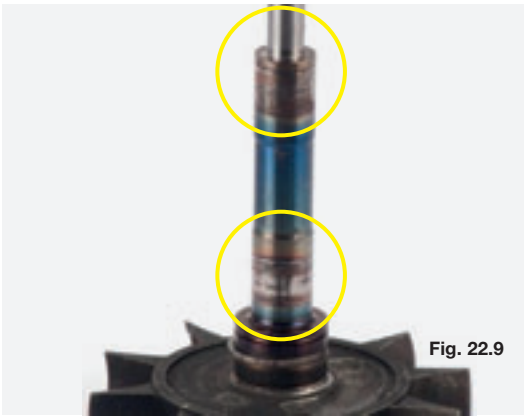


Fig. 22.9

Contaminação do óleo lubrificante

Aspectos

- Marcas e canais existentes nos mancais, no eixo rotor, no colar e no espaçador (Fig. 22.10, 22.11, 22.12 e 22.13).
- Marcas de contato dos rotores com as respectivas carcaças.
- Perda de potência.
- Contaminação do intercooler.
- Ruído.

Causas

- A utilização de óleo lubrificante por períodos acima do recomendado para a troca, assim como a utilização de óleo com especificação abaixo da recomendada para o motor.
- Contaminação por partes do motor que se desprenderam.
- Ambiente impróprio para troca de óleo.
- Utilização de elementos vedantes ao invés de juntas (Fig. 22.14 e 22.15) obstrui as galerias de lubrificação, provocando a deficiência do filme de óleo e consequente fusão das partes móveis.
- Troca dos elementos filtrantes em períodos acima do recomendado pelo fabricante do motor.
- Aumento da rotação do motor e súbito desligamento deste.
- Contaminação do óleo lubrificante por óleo diesel.

Fig. 22.10

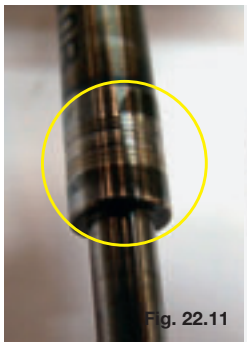


Fig. 22.11

Fig. 22.12

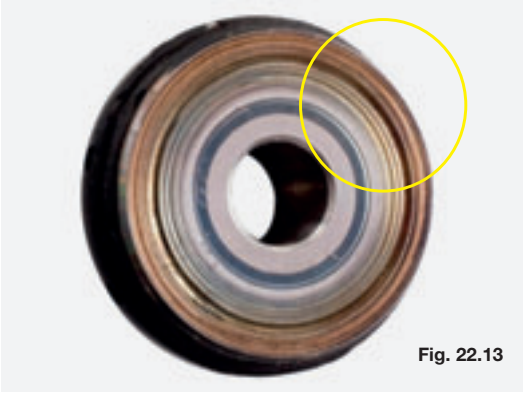


Fig. 22.13

Correções

- Substituir os elementos filtrantes segundo recomendação do fabricante do motor.
- Aguardar que a rotação do turbo seja adequada para desligar o motor.
- Revisar e regular periodicamente o sistema de injeção de combustível.
- Substituir filtros do ar e revisar sistema de filtração sempre que o turbo for substituído.

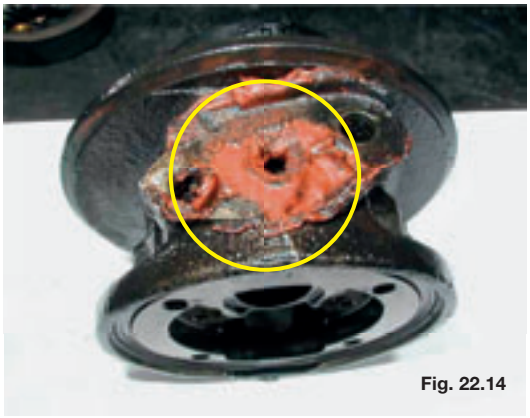


Fig. 22.14

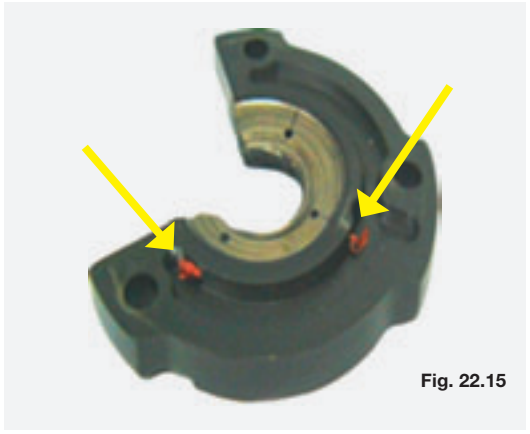


Fig. 22.15

Consumo de óleo lubrificante através do turbo devido à obstrução do duto de óleo de retorno da turbina

Aspectos

- Fumaça azul.
- Perda de potência.
- Contaminação do intercooler.
- Contaminação por óleo lubrificante do rotor compressor e rotor da turbina (Fig. 22.16 e 22.17).

Causas

- Utilização de compostos de vedação ao invés de junta (Fig. 22.18).
- Duto do retorno de óleo torcido, dobrado ou obstruído (Fig. 22.19).

Correções

- Substituir os dutos sempre que necessário.
- Utilizar sempre juntas de vedação.
- Limpar sempre os dutos de lubrificação.
- Substituir filtros do ar e revisar sistema de filtração sempre que o turbo for substituído.

Fig. 22.16

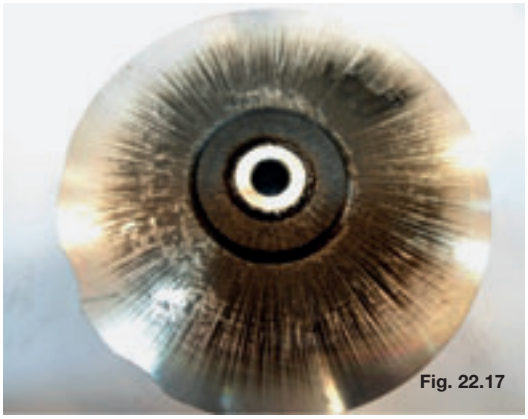


Fig. 22.17

Fig. 22.18

Fig. 22.19

Trinca na carcaça do turbocompressor

Aspectos

- Perda de potência em baixa rotação.
- Trinca na carcaça (Fig. 22.20).

Causas

- Superaquecimento do turbo devido à regulagem incorreta do sistema de injeção de combustível.
- Aplicação incorreta.
- Restrição do sistema de escape dos gases devido à regulagem incorreta do freio motor.

Correções

- Substituir o turbo pelo correto.
- Substituir filtros do ar e revisar sistema de filtração sempre que o turbo for substituído.
- Verificar o gerenciamento eletrônico do motor.
- Verificar o sistema de injeção mecânica do motor.

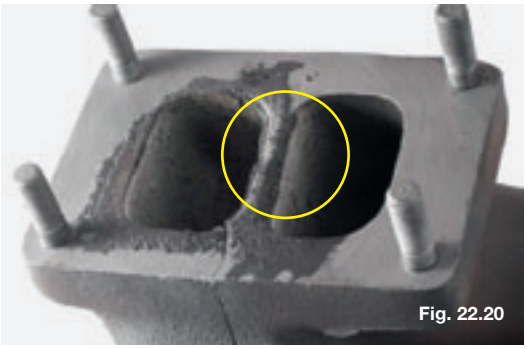
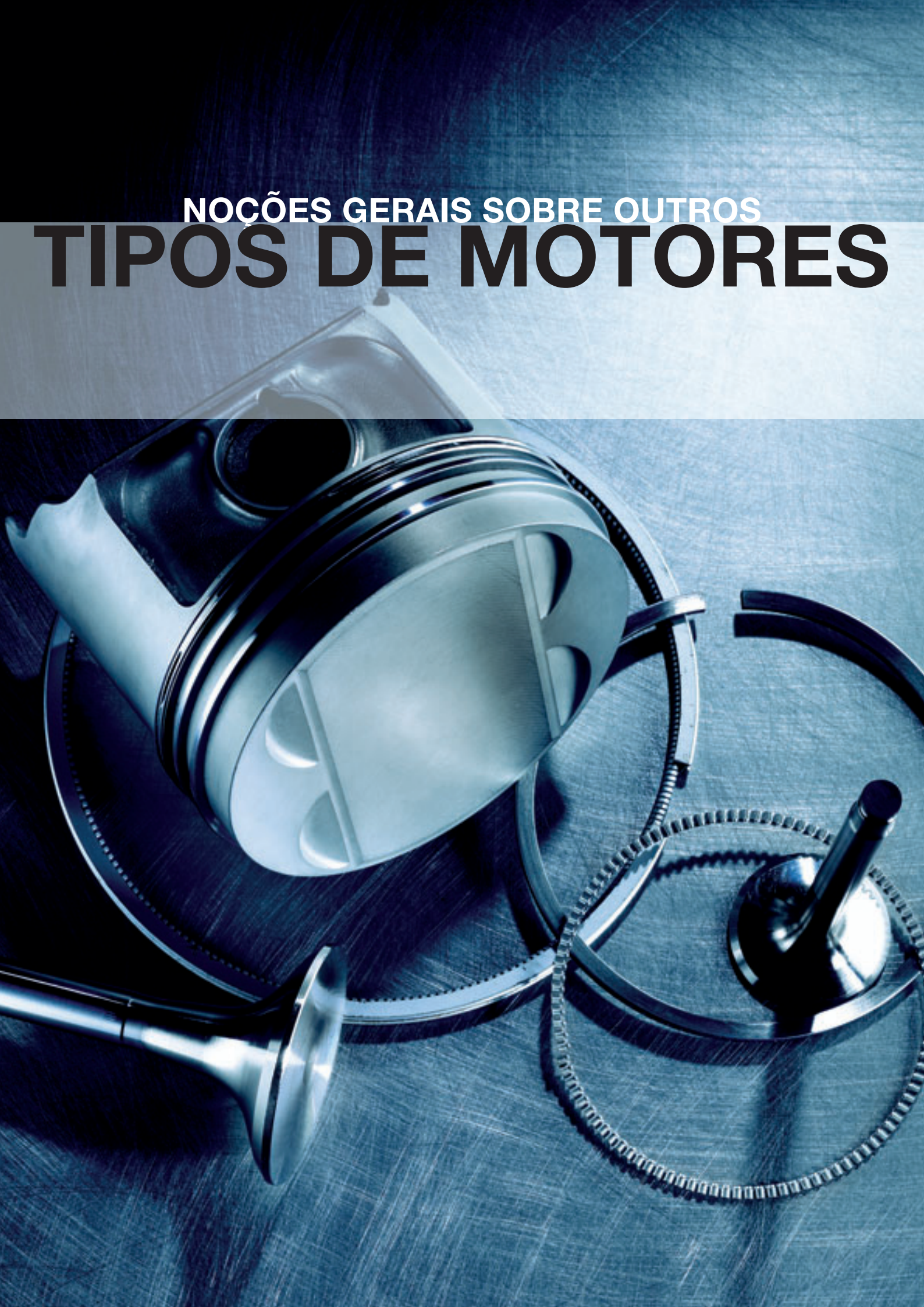


Fig. 22.20



NOÇÕES GERAIS SOBRE OUTROS

TIPOS DE MOTORES

23 — Noções gerais sobre outros tipos de motores

23.1 — Motor Wankel

Os motores rotativos fabricados atualmente para veículos automotores são todos do tipo Wankel de um ou mais rotores. Uma das vantagens desse tipo de motor é que as suas peças não estão sujeitas a movimentos alternativos (ascendentes e descendentes), mas simplesmente a movimentos rotativos. Outra vantagem do motor Wankel é que ele é mais compacto, mais leve e fabricado com um número de peças menor que os motores usuais de pistões.

A carcaça externa do motor Wankel tem a sua superfície interna com a forma ovalada. Dentro dessa carcaça está instalado um rotor com formato praticamente triangular com uma engrenagem interna. O eixo de saída do motor gira com uma velocidade três vezes maior que a rotação do rotor, como será mostrado a seguir.

O rotor gira excentricamente a fim de que os seus três vértices fiquem constantemente em contato com a superfície interna da carcaça. Por isso, o centro do rotor, no seu movimento, vai ocupando posições diferentes no interior da carcaça.

Um sistema planetário de engrenagens faz com que o rotor fique ligado a um eixo motor equivalente ao virabrequim de um motor de pistão (Fig. 23.1.1).

MOTOR WANKEL

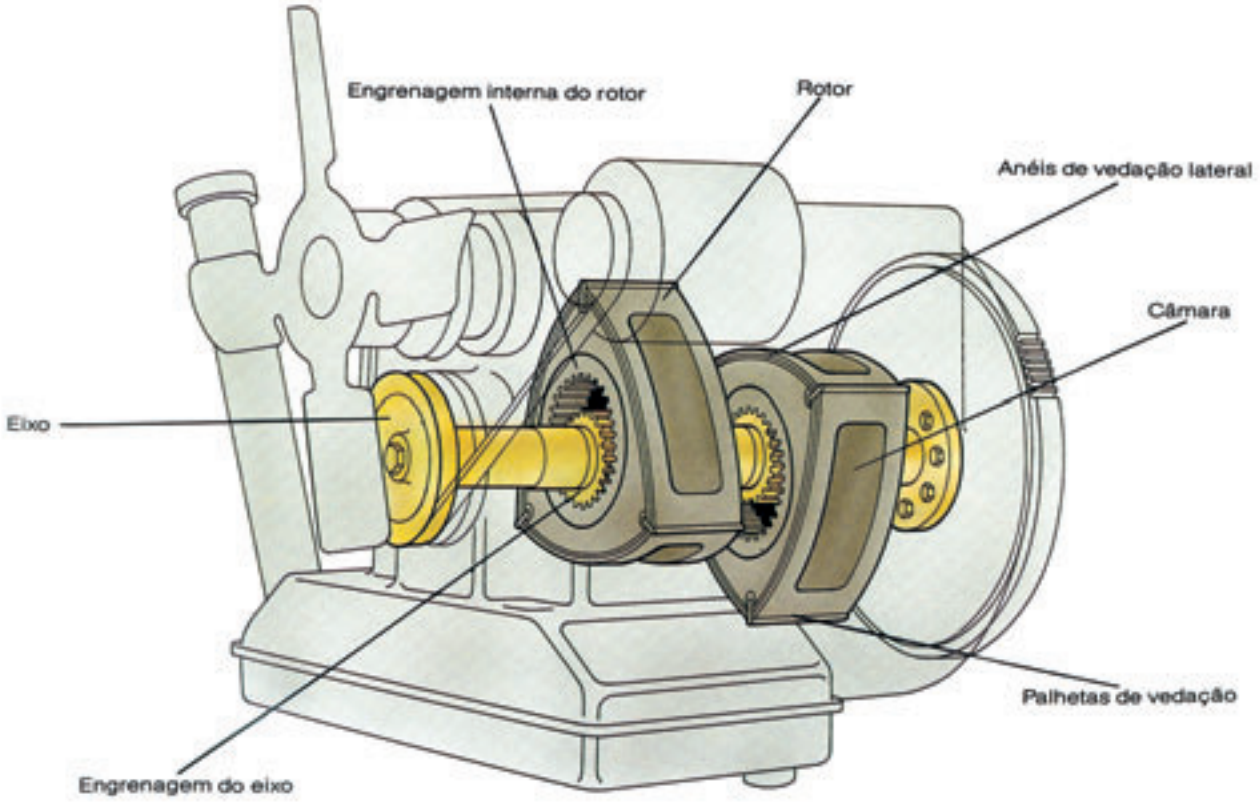


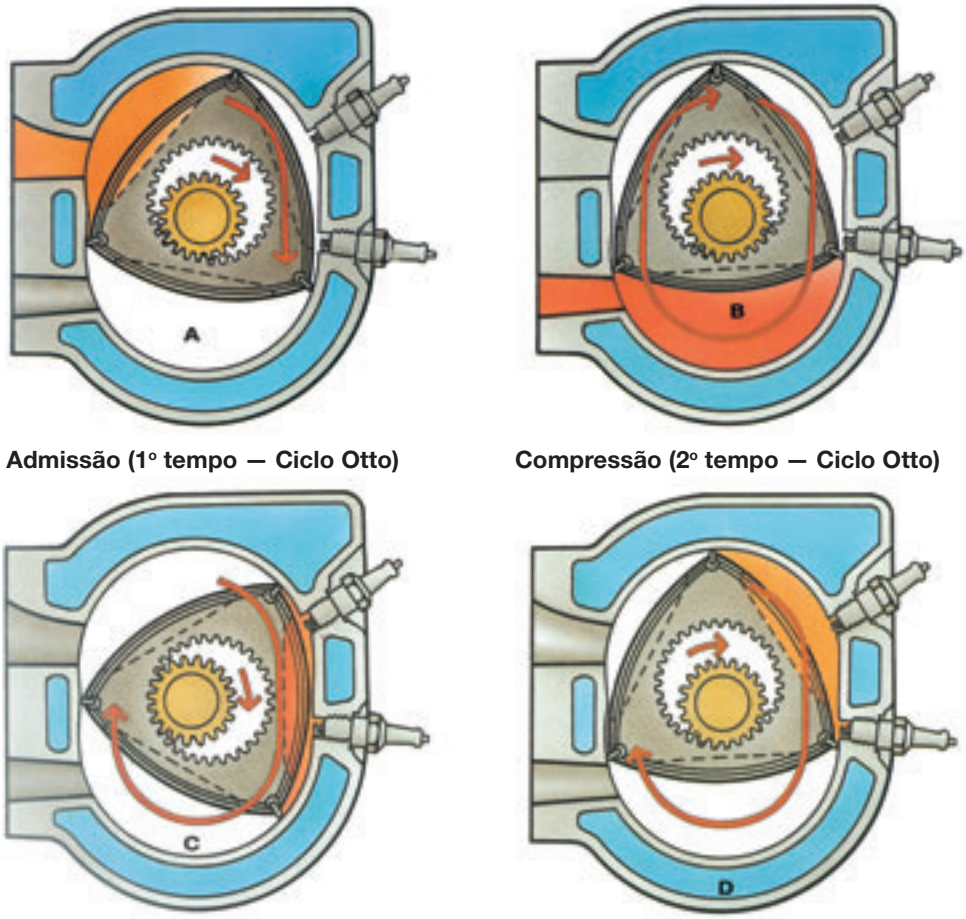
Fig. 23.1.1

Observamos que as faces externas do rotor possuem uma concavidade. Existem, entre a parte interna da carcaça e os três lados do rotor, três espaços vazios úteis, que podemos denominar de câmaras. De acordo com o giro do rotor, o volume de cada uma delas aumenta ou diminui tendo-se em vista o formato ovalado da superfície interna da cabeça.

A carcaça do motor tipo Wankel possui duas velas de ignição, dois condutos, sendo um de admissão e o outro de escape, que são descobertos (ou abertos) sucessivamente pelo rotor durante o seu movimento de rotação. Conseqüentemente, nesse tipo de motor, cada volta completa do rotor corresponde ao ciclo de 4 tempos convencional de pistão. Como ele possui três "câmaras" entre os lados do rotor de formato praticamente triangular e a superfície interna da carcaça, ocorrem três tempos de explosão em cada volta do rotor — isto é, uma explosão em cada giro do eixo motor, uma vez que este dá três voltas enquanto o rotor dá uma completa, devido ao sistema de engrenagens. Na Figura 23.1.2 apresentamos mais detalhes do funcionamento do motor Wankel.

O maior problema enfrentado pelos construtores dos motores Wankel é projetar um sistema eficiente

MOTOR WANKEL



Admissão (1º tempo — Ciclo Otto)

Compressão (2º tempo — Ciclo Otto)

Explosão (3º tempo — Ciclo Otto)

Escape (4º tempo — Ciclo Otto)

Fig. 23.1.2

de vedação para gases nos três vértices e nos lados do rotor. O sistema que tem apresentado melhores resultados foi desenvolvido por uma indústria japonesa e consiste em fabricar os vértices do triângulo com acabamento em fibra de carbono.

23.2 — Motores adiabáticos

Motores adiabáticos são aqueles que procuram aproveitar todo o calor gerado pela combustão, reduzindo a troca de calor com o meio ambiente. Com a redução da troca de calor com o ambiente, as pressões e temperaturas internas do motor são mais elevadas, requerendo a utilização de componentes mais resistentes (ex: pistões articulados). Em contrapartida, permitem uma melhor queima, bem como a utilização de combustíveis vegetais, com menor nível de emissão de poluentes.

A redução da troca de calor com o meio externo pode ser obtida, por exemplo, por um dos seguintes artifícios, isoladamente ou em conjunto:

- sistema de combustão duotérmico;
- bloco e cabeçote com revestimento cerâmico;
- pistões com cabeça cerâmica;
- eliminação do sistema de arrefecimento convencional.

Com a eliminação do sistema de arrefecimento convencional (radiador), parte do calor passa a ser dissipado através do óleo lubrificante.

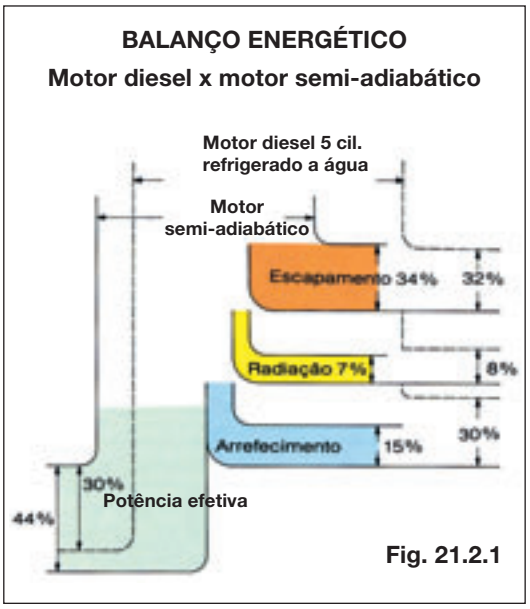


Fig. 21.2.1

Os motores adiabáticos têm mostrado um aumento no seu rendimento, dos atuais 30% nos motores diesel para 40% a 44%, pois as perdas de calor de cerca de 30% pelos sistemas de arrefecimento convencionais atuais reduzem-se a 15% aproximadamente, dissipados principalmente pelo óleo lubrificante (Fig. 23.2.1)

23.3 — Turbina a gás

O princípio da turbina a gás é baseado em uma das leis da Física (3ª Lei de Newton), que diz: A toda ação corresponde uma reação de mesma intensidade em sentido contrário.

Ilustra-se este princípio inflando um balão de borracha, o qual, após ser solto, é impulsionado sem rumo até a pressão interna acabar. Uma vez compreendido como este balão se desloca, entender-se-á o princípio da turbina a gás.

Usando uma simples ilustração de um balão de borracha inflado tendo seu bocal fechado, estabelecemos a condição na qual uma pressão está sendo exercida igualmente em todas as direções no interior do mesmo. Abrindo o bocal, o ar que está no interior do balão sendo comprimido pelas paredes elásticas deste, passa a sair pelo bocal com alguma velocidade. A velocidade do ar através do bocal produz a **ação** que por sua vez dá origem a uma reação igual e oposta que impulsiona o balão (Fig. 23.3.1).

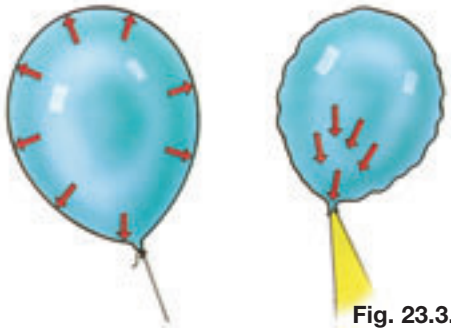


Fig. 23.3.1

Princípio básico de funcionamento

A Figura 23.3.2A mostra um simples recipiente de ar comprimido, que possui um bocal de saída através do qual o ar escapa para a atmosfera, até a pressão se esgotar.

Essa saída de ar momentânea em alta velocidade produz uma força de duração limitada (flecha azul). Para desenvolver uma força capaz de produzir potência, necessitamos de um aumento na velocidade e um contínuo fornecimento de ar em alta velocidade.

A velocidade do ar pode ser aumentada por aquecimento, como indicado na Figura 23.3.2B. Esta relativa mudança de velocidade é indicada pela flecha longa vermelha (ar aquecido) ao lado da azul intermitente.

Na Figura 23.3.2C, o ar aquecido (flecha vermelha) é dirigido sobre palhetas que, colocadas num disco, formam o rotor da turbina, forçando-a a girar no seu eixo. A fim de prover fluxo de ar contínuo, uma entrada é colocada na extremidade do recipiente (Fig. 23.3.2D) e um compressor força o ar (flecha azul) para dentro dele (Fig. 23.3.2E). Nem todo o ar que entra na câmara de combustão é necessário à combustão.

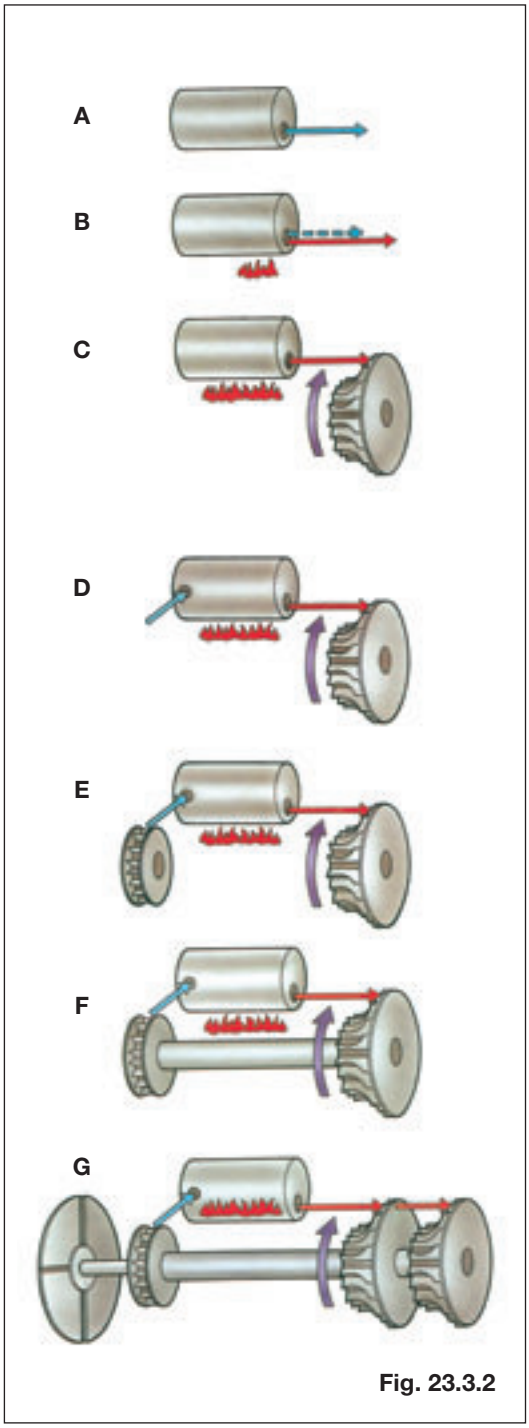


Fig. 23.3.2

Todavia, todo o ar é aquecido e expande-se rapidamente. Ele sai como gás em alta velocidade pelo bocal e é dirigido sobre a turbina, que por sua vez é ligada através de um eixo ao compressor (Fig. 23.3.2F).

Até aqui, o aquecimento do ar no recipiente era feito por meios externos. Transforma-se o recipiente em uma câmara de combustão, introduzindo combustível, misturando-o com o ar e inflamando-o.

Ao passar pela turbina, aproximadamente 2/3 da energia são utilizados. Todavia, o restante possui ainda um elevado potencial de trabalho. Por isso, um segundo rotor de turbina é colocado logo após o primeiro, o qual é acionado por este potencial da mesma forma que o primeiro (Fig. 23.3.2G).

Esta turbina, ligada a um eixo mecanicamente independente do compressor e da 1ª turbina, aciona um conjunto de redução, ao qual podem ser ligados uma hélice (avião), transmissão e rotor (helicóptero), volante e embreagem (automóvel). No início do estudo da 3ª Lei do Movimento é difícil, para alguns, aplicá-la em motores à reação, por não encontrarem o ponto de referência entre a força atuante e o atual movimento do motor. Este motivo criou a idéia de que motores à reação se deslocam quando os gases de exaustão atingem uma barreira, o ar por exemplo.

Não é porém este o caso. A força de **reação** é estritamente um fenômeno dentro do motor criado por conversão de energia, isto é: pressão transformada em energia de velocidade.

Esta condição é fácil de se entender, se analisarmos um motor espacial (foguete), que produz empuxo (**reação**) no espaço, onde não existe ar.

Em se tratando de propulsão a jato, é preciso não imaginá-la resultante do impacto dos gases produzidos pelo reator contra o ar ambiente. O fenômeno da reação direta é regido pelo princípio geral das quantidades de movimento, cuja soma é constante, mas nula, achando-se o sistema em repouso, o que significa que os gases e o recipiente do qual são expelidos devem afastar-se reciprocamente, em direções opostas. Por isso, felizmente, conseguem os foguetes deslocar-se mesmo no vácuo. Assim não fosse, jamais poderíamos sequer sonhar com viagens interplanetárias.

Reação indireta equivale a recuo, o mesmo que se produz no disparo de um canhão ou de uma pistola, maior no primeiro só porque nele a massa da bala é proporcionalmente maior. Sentemo-nos numa cadeira de rodas com uma porção de tijolos no colo. Se nos pusermos a atirá-los para frente, começaremos a nos deslocar para trás, por reação direta, independente do fato de estarem ou não os tijolos batendo contra qualquer parede.

Aplicação da turbina a gás

A aplicação da turbina a gás está limitada a aeronaves e, em caráter experimental, em alguns carros e trens. As desvantagens das turbinas a gás são:

- os rotores giram a elevadas rotações por minuto, provocando ruídos;
- necessidade de substituir conjuntos completos em caso de falhas, o que onera a revisão.

As vantagens das turbinas são:

- bom momento de torque;
- pouca sensibilidade à qualidade do combustível, desde que microfiltrado;
- baixo consumo de óleo lubrificante;
- funcionamento sem vibrações;
- eliminação quase total do monóxido de carbono dos gases;
- manutenção simples.

TURBINA A GÁS

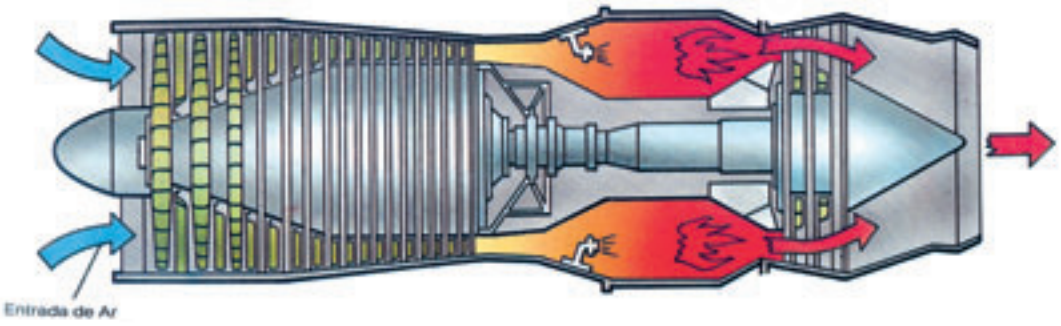


Fig. 23.3.3

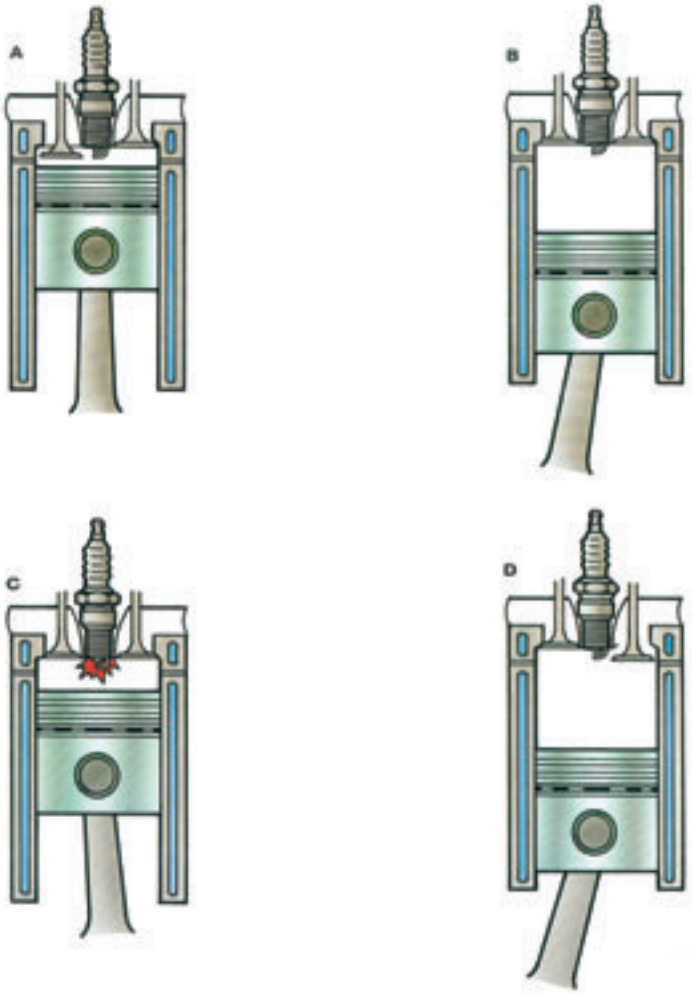


Fig. 21.3.3

Comparação com um motor convencional

Nas Figuras 23.3.3, comparamos a Turbina a Gás com um motor convencional. Neste, temos 4 tempos: Admissão, Compressão, Expansão (tempo motor) e Escape, num ciclo alternado, enquanto a Turbina a Gás possui os mesmos quatro tempos, porém num ciclo contínuo.

23.4 — Motor de cilindrada variável

Motor de cilindrada variável está sendo desenvolvido experimentalmente, com o objetivo de se obter uma redução de consumo de combustível, principalmente em tráfego urbano. Isso é obtido através da alteração do curso do pistão, devido à redução das perdas por inércia e atrito. Conforme mostrado na Figura 23.4.1, o curso do pistão pode ser alterado por intermédio de um braço de regulagem que altera o ponto morto inferior.

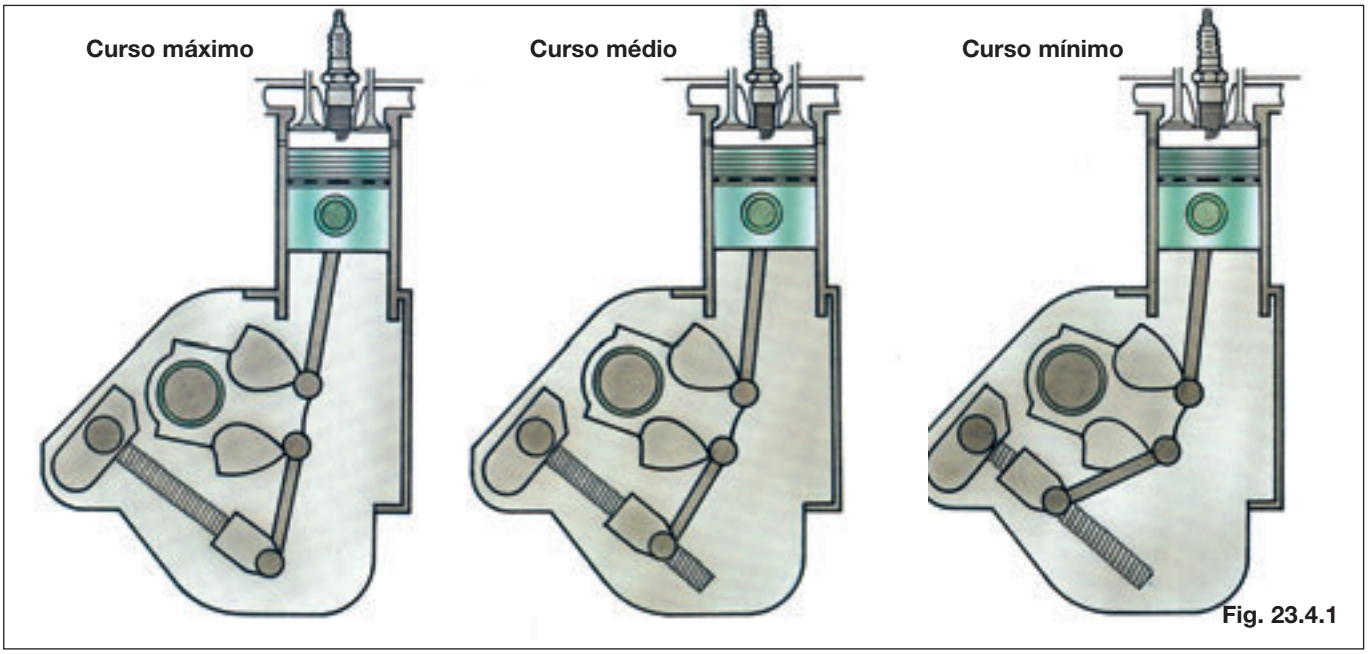


Fig. 23.4.1

ALGUMAS UNIDADES DO SISTEMA INTERNACIONAL

GRANDEZAS	UNIDADES		OBSERVAÇÕES
	NOMES	SÍMBOLOS	
Comprimento	metro	m	
Ângulo plano	radiano	rad	
Área	metro quadrado	m^2	
Volume	metro cúbico	m^3	Unidade alternativa: litro = 10^{-3} m^3
Massa	quilograma	kg	
Massa específica	quilograma por metro cúbico	kg/m^3	
Tempo	segundo	s	
Freqüência	hertz	Hz	
Velocidade	metro por segundo	m/s	
Velocidade angular	radiano por segundo	rad/s	
Velocidade angular	rpm	rpm (*)	π/30 rad/s
Aceleração	metro por segundo e por segundo	m/s^2	
Aceleração angular	radiano por segundo e por segundo	rad/s^2	
Vazão	metro cúbico por segundo	m^3/s	
Fluxo (de massa)	quilograma por segundo	kg/s	
Momento de inércia	quilograma-metro quadrado	$kg.m^2$	
Momento cinético	quilograma-metro quadrado por segundo	$\frac{kg.m^2}{s}$	
Força	newton	N	
Momento de força	metro - newton	mN	Momento de força e trabalho são grandezas homogêneas. Entretanto, é usual mas não obrigatório distinguir pelo modo de escrever, quando a unidade se refere a uma ou à outra grandeza. Assim: mN para momento Nm para trabalho
Pressão	newton por metro quadrado	N/m^2	bar = $10N/cm^2$
Energia	joule	j	10^{-7} j = erg
Potência	watt	W	
Intensidade de corrente	ampére	A	
Tensão elétrica	volt	V	
Capacitância	farad	F	microfarad = 10^{-6} F
Indutância	henry	H	
Resistência elétrica	ohm	Ω	
Indução magnética	tesla	T	10^{-4} T = gauss
Temperatura Celsius	grau Celsius	ºC (*)	
Intensidade luminosa	candela	cd	
Fluxo luminoso	lúmen	lm	
Iluminamento	lux	lx	
Luminância	candela por metro quadrado	cd/m^2	
Ângulo plano	grau	º (*)	1º = (π/180) rad
Força	quilograma-força	kgf (*)	1 kgf = 9,806 65N
Potência	cavalo-vapor	cv (*)	1 cv = 735,5 W

Obs.: (*) Estas unidades não são do S.I. mas são legais no Brasil.

TABELA DE CONVERSÃO

1” = 25,400 000 mm **1 mm = 0,039370”**

Frações		Polegada											
		0”	1”	2”	3”	4”	5”	6”	7”	8”	9”	10”	11”
		Milímetro											
0	0	0	25,400 0	50,800 0	76,200 0	101,600 0	127,000 0	152,400 0	177,800 0	203,200 0	228,600 0	254,000 0	279,400 0
1/64	.015 625	0,396 9	25,796 9	51,196 9	76,596 9	101,996 9	127,396 9	152,796 9	178,196 9	203,596 9	228,996 9	254,396 9	279,796 9
1/32	.031 25	0,793 8	26,193 8	51,593 8	76,993 8	102,393 8	127,793 8	153,193 8	178,593 8	203,993 8	229,393 8	254,793 8	280,193 8
3/64	.046 875	1,190 6	26,590 6	51,990 6	77,390 6	102,790 6	128,190 6	153,590 6	178,990 6	204,390 6	229,790 6	255,190 6	280,590 6
1/16	.062 5	1,587 5	26,987 5	52,387 5	77,787 5	103,187 5	128,587 5	153,987 5	179,387 5	204,787 5	230,187 5	255,587 5	280,987 5
5/64	.078 125	1,984 4	27,384 4	52,784 4	78,184 4	103,584 4	128,984 4	154,384 4	179,784 4	205,184 4	230,584 4	255,984 4	281,384 4
3/32	.093 75	2,381 2	27,781 2	53,181 2	78,581 2	103,981 2	129,381 2	154,781 2	180,181 2	205,581 2	230,981 2	256,381 2	281,781 2
7/64	.109 375	2,778 1	28,178 1	53,578 1	78,978 1	104,378 1	129,778 1	155,178 1	180,578 1	205,978 1	231,378 1	256,778 1	282,178 1
1/8	.125	3,175 0	28,575 0	53,975 0	79,375 0	104,775 0	130,175 0	155,575 0	180,975 0	206,375 0	231,775 0	257,175 0	282,575 0
9/64	.140 625	3,571 9	28,971 9	54,371 9	79,771 9	105,171 9	130,571 9	155,971 9	181,371 9	206,771 9	232,171 9	257,571 9	282,971 9
5/32	.156 25	3,968 8	29,368 8	54,768 8	80,168 8	105,568 8	130,968 8	156,368 8	181,768 8	207,168 8	232,568 8	257,968 8	283,368 8
11/64	.171 875	4,365 6	29,765 6	55,165 6	80,565 6	105,965 6	131,365 6	156,765 6	182,165 6	207,565 6	232,965 6	258,365 6	283,765 6
3/16	.187 5	4,762 5	30,162 5	55,562 5	80,962 5	106,362 5	131,762 5	157,162 5	182,562 5	207,962 5	233,362 5	258,762 5	284,162 5
13/64	.203 125	5,159 4	30,559 4	55,959 4	81,359 4	106,759 4	132,159 4	157,559 4	182,959 4	208,359 4	233,759 4	259,159 4	284,559 4
7/32	.218 75	5,556 2	30,956 2	56,356 2	81,756 2	107,156 2	132,556 2	157,956 2	183,356 2	208,756 2	234,156 2	259,556 2	284,956 2
15/64	.234 375	5,953 1	31,353 1	56,753 1	82,153 1	107,553 1	132,953 1	158,353 1	183,753 1	209,153 1	234,553 1	259,953 1	285,353 1
1/4	.25	6,350 0	31,750 0	57,150 0	82,550 0	107,950 0	133,350 0	158,750 0	184,150 0	209,550 0	234,950 0	260,350 0	285,750 0
17/64	.265 625	6,746 9	32,146 9	57,546 9	82,946 9	108,346 9	133,746 9	159,146 9	184,546 9	209,946 9	235,346 9	260,746 9	286,146 9
9/32	.281 25	7,143 8	32,543 8	57,943 8	83,343 8	108,743 8	134,143 8	159,543 8	184,943 8	210,343 8	235,743 8	261,143 8	286,543 8
19/64	.296 875	7,540 6	32,940 6	58,340 6	83,740 6	109,140 6	134,540 6	159,940 6	185,340 6	210,740 6	236,140 6	261,540 6	286,940 6
5/16	.312 5	7,937 5	33,337 5	58,737 5	84,137 5	109,537 5	134,937 5	160,337 5	185,737 5	211,137 5	236,537 5	261,937 5	287,337 5
21/64	.328 125	8,334 4	33,734 4	59,134 4	84,534 4	109,934 4	135,334 4	160,734 4	186,134 4	211,534 4	236,934 4	262,334 4	287,734 4
11/32	.343 75	8,731 2	34,131 2	59,531 2	84,931 2	110,331 2	135,731 2	161,131 2	186,531 2	211,931 2	237,331 2	262,731 2	288,131 2
23/64	.359 375	9,128 1	34,528 1	59,928 1	85,328 1	110,728 1	136,128 1	161,528 1	186,928 1	212,328 1	237,728 1	263,128 1	288,528
3/8	.375	9,525 0	34,925 0	60,325 0	85,725 0	111,125 0	136,525 0	161,925 0	187,325 0	212,725 0	238,125 0	263,525 0	288,925 0
25/64	.390 625	9,921 9	35,321 9	60,721 9	86,121 9	111,521 9	136,921 9	162,321 9	187,721 9	213,121 9	238,521 9	263,921 9	289,321 9
13/32	.406 25	10,318 8	35,718 8	61,118 8	86,518 8	111,918 8	137,318 8	162,718 8	188,118 8	213,518 8	238,918 8	264,318 8	289,718 8
27/64	.421 875	10,715 6	36,115 6	61,515 6	86,915 6	112,315 6	137,715 6	163,115 6	188,515 6	213,915 6	239,315 6	264,715 6	290,115 6
7/16	.437 5	11,125 5	36,512 5	61,912 5	87,312 5	112,712 5	138,112 5	163,512 5	188,912 5	214,312 5	239,712 5	265,112 5	290,512 5
29/64	.453 125	11,509 4	36,909 4	62,309 4	87,709 4	113,109 4	138,509 4	163,909 4	189,309 4	214,709 4	240,109 4	265,509 4	290,909 4
15/32	.468 75	11,906 2	37,306 2	62,706 2	88,106 2	113,506 2	138,906 2	164,306 2	189,706 2	215,106 2	240,506 2	265,906 2	291,306 2
31/64	.484 375	12,303 1	37,703 1	63,103 1	88,503 1	113,903 1	139,303 1	164,703 1	190,103 1	215,503 1	240,903 1	266,303 1	291,703 1
1/2	.5	12,700 0	38,100 0	63,500 0	88,900 0	114,300 0	139,700 0	165,100 0	190,500 0	215,900 0	241,300 0	266,700 0	292,100 0
33/64	.515 625	13,096 9	38,496 9	63,896 9	89,296 9	114,696 9	140,096 9	165,496 9	190,896 9	216,296 9	241,696 9	267,096 9	292,496 9
17/32	.531 25	13,493 8	38,893 8	64,293 8	89,693 8	115,093 8	140,493 8	165,893 8	191,293 8	216,693 8	242,093 8	267,493 8	292,893 8
35/64	.546 875	13,890 6	39,290 6	64,690 6	90,090 6	115,490 6	140,890 6	166,290 6	191,690 6	217,090 6	242,490 6	267,890 6	293,290 6
9/16	.562 5	14,287 5	39,687 5	65,087 5	90,487 5	115,887 5	141,287 5	166,687 5	192,087 5	217,487 5	242,887 5	268,287 5	293,687 5
37/64	.578 125	14,684 4	40,084 4	65,484 4	90,884 4	116,284 4	141,684 4	167,084 4	192,484 4	217,884 4	243,284 4	268,684 4	294,084 4
19/32	.593 75	15,081 2	40,481 2	65,881 2	91,281 2	116,681 2	142,081 2	167,181 2	192,881 2	218,281 2	243,681 2	269,081 2	294,481 2
39/64	.609 375	15,478 1	40,878 1	66,278 1	91,678 1	117,078 1	142,478 1	167,878 1	193,278 1	218,678 1	244,078 1	269,478 1	294,878 1
5/8	.625	15,875 0	41,275 0	66,675 0	92,075 0	117,475 0	142,875 0	168,275 0	193,675 0	219,075 0	244,475 0	269,875 0	295,275 0
41/64	.640 625	16,271 9	41,671 9	67,071 9	92,471 9	117,871 9	143,271 9	168,671 9	194,071 9	219,471 9	244,871 9	270,271 9	295,671 9
21/32	.656 25	16,668 8	42,068 8	67,468 8	92,868 8	118,268 8	143,668 8	169,068 8	194,468 8	219,868 8	245,268 8	270,668 8	296,068 8
43/64	.671 875	17,065 6	42,465 6	67,865 6	93,265 6	118,665 6	144,065 6	169,465 6	194,865 6	220,265 6	245,665 6	271,065 6	296,465 6
11/16	.687 5	17,462 5	42,862 5	68,262 5	93,662 5	119,062 5	144,462 5	169,862 5	195,262 5	220,662 5	246,062 5	271,462 5	296,862 5
45/64	.703 125	17,859 4	43,259 4	68,659 4	94,059 4	119,459 4	144,859 4	170,259 4	195,659 4	221,059 4	246,459 4	271,859 4	297,259 4
23/32	.718 75	18,256 2	43,656 2	69,056 2	94,456 2	119,856 2	145,256 2	170,656 2	196,056 2	221,456 2	246,856 2	272,256 2	297,656 2
47/64	.734 375	18,653 1	44,053 1	69,453 1	94,853 1	120,253 1	145,653 1	171,053 1	196,453 1	221,853 1	247,253 1	272,653 1	298,053 1
3/4	.75	19,050 0	44,450 0	69,850 0	95,250 0	120,650 0	146,050 0	171,450 0	196,850 0	222,250 0	247,650 0	273,050 0	298,450 0
49/64	.765 625	19,446 9	44,846 9	70,246 9	95,646 9	121,046 9	146,446 9	171,846 9	197,246 9	222,646 9	248,046 9	273,446 9	298,846 9
25/32	.781 25	19,843 8	45,243 8	70,643 8	96,043 8	121,443 8	146,843 8	172,243 8	197,643 6	223,043 8	248,443 8	273,843 8	299,243 8
51/64	.796 875	20,240 6	45,640 6	71,040 6	96,440 6	121,840 6	147,240 6	172,640 6	198,040 6	223,440 6	248,840 6	274,240 6	299,640 6
13/16	.812 5	20,637 5	46,037 5	71,437 5	96,837 5	122,237 5	147,637 5	173,037 5	198,437 5	223,837 5	249,237 5	274,637 5	300 037 5
53/64	.828 125	21,034 4	46,434 4	71,834 4	97,234 4	112,634 4	148,034 4	173,434 4	198,834 4	224,234 4	249,634 4	275,034 4	300,434 4
27/32	.843 75	21,431 2	46,831 2	72,231 2	97,631 2	123,031 2	148,431 2	173,831 2	199,231 2	224,631 2	250,031 2	275,431 2	300,831 2
55/64	.859 375	21,828 1	47,228 1	72,628 1	98,028 1	123,428 1	148,828 1	174,228 1	199,628 1	225,028 1	250,428 1	275,828 1	301,228 1
7/8	.875	22,225 0	47,625 0	73,025 0	98,425 0	123,825 0	149,225 0	174,625 0	220,025 0	225,425 0	250,825 0	276,225 0	301,625 0
57/64	.890 625	22,621 9	48,021 9	73,421 9	98,821 9	124,221 9	149,621 9	175,021 9	200,421 9	225,821 9	251,221 9	276,621 9	302,021 9
29/32	.906 25	23,018 8	48,418 8	73,818 8	99,218 8	124,618 8	150,018 8	175,418 8	200,818 8	226,218 8	251,618 8	277,018 8	302,418 8
59/64	.921 875	23,415 6	48,815 6	74,215 6	99,615 6	125,015 6	150,415 6	175,815 6	201,215 6	226,615 6	252,015 6	277,415 6	302,815 6
15/16	.937 5	23,812 5	49,212 5	74,612 5	100,012 5	125,412 5	150,812 5	176,212 5	201,612 5	227,012 5	252,412 5	277,812 5	303,212 5
61/64	.953 125	24,209 4	49,609 4	75,009 4	100,409 4	125,809 4	151,209 4	176,609 4	202,009 4	227,409 4	252,809 4	278,209 4	303,609 4
31/32	.968 75	24,606 2	50,006 2	75,406 2	100,806 2	126,206 2	151,606 2	177,006 2	202,406 2	227,806 2	253,206 2	278,606 2	304,006 2
63/64	.984 375	25,003 1	50,403 1	75,803 1	101,203 1	126,603 1	152,003 1	177,403 1	202,803 1	228,203 1	253,603 1	279,003 1	304,403 1

PREFIXOS DECIMAIS DO SI

PREFIXOS		FATOR PELO QUAL A UNIDADE É MULTIPLICADA
NOMES	SÍMBOLOS	
tera	T	10^{12} = 1 000 000 000 000
giga	G	10^{9} = 1 000 000 000
mega	M	10^{6} = 1 000 000
quilo	k	10^{3} = 1 000
hecto	h	10^{2} = 100
deca	da	10
deci	d	10^{-1} = 0,1
centi	c	10^{-2} = 0,01
mili	m	10^{-3} = 0,001
micro	μ	10^{-6} = 0,000 001
nano	n	10^{-9} = 0,000 000 001
pico	p	10^{-12} = 0,000 000 000 001
femto	f	10^{-15} = 0,000 000 000 000 001
atto	a	10^{-18} = 0,000 000 000 000 000 001

TABELA DE CONVERSÃO

milímetro-polegada

mm	polegada	mm	polegada	mm	polegada
0,001	.000039	0,1	.00394	10	.39370
0,002	.000079	0,2	.00787	11	.43307
0,003	.000118	0,3	.01181	12	.47244
0,004	.000157	0,4	.01575	13	.51181
0,005	.000197	0,5	.01969	14	.55118
0,006	.000236	0,6	.02362	15	.59055
0,007	.000276	0,7	.02756	16	.62992
0,008	.000315	0,8	.03150	17	.66929
0,009	.000354	0,9	.03543	18	.70866
0,01	.00039	1	.03937	19	.74803
0,02	.00079	2	.07874	20	.7874
0,03	.00118	3	.11811	30	1,1811
0,04	.00157	4	.15748	40	1,5748
0,05	.00197	5	.19685	50	1,96850
0,06	.00236	6	.23622	60	2,36220
0,07	.00276	7	.27599	70	2,75590
0,08	.00315	8	.31496	80	3,14960
0,09	.00354	9	.35433	90	3,54330

polegada-milímetro

polegada	mm	polegada	mm	polegada	mm
.0001	.00254	.010	.254	1	25,4
.0002	.00508	.02	.508	2	50,8
.0003	.00762	.03	.762	3	76,2
.0004	.01016	.04	1,016	4	101,6
.0005	.01270	.05	1,270	5	127,0
.0006	.01524	.06	1,524	6	152,4
.0007	.01778	.07	1,778	7	177,8
.0008	.02032	.08	2,032	8	203,2
.0009	.02286	.09	2,286	9	228,6
.001	.0254	.1	2,54	10	254,0
.002	.0508	.2	5,08	20	508,0
.003	.0762	.3	7,62	30	762,0
.004	.1016	.4	10,16	40	1.016
.005	.1270	.5	12,70	50	1.270
.006	.1524	.6	15,24	60	1.524
.007	.1778	.7	17,78	70	1.778
.008	.2032	.8	20,32	80	2.032
.009	.2286	.9	22,86	90	2.286

Exemplos:

Converter 73,832 mm em polegadas

70.0	—	2.7559
3.0	—	0.11811
0.8	—	0.03150
0.03	—	0.00118
0.002	—	0.000079
73.832	—	2.906769

73.832 — 2.90677 polegadas

Converter 2.5743” em milímetros

2.0000	—	50.80 milímetros
.5000	—	12.70
.0700	—	1.778
.0040	—	0.1016
.0003	—	0.00762
2.5743	—	65.38722

2.5743 — 65.3872 milímetros

FATORES DE CONVERSÃO DE UNIDADES

PARA CONVERTER DE:	PARA	MULTIPLIQUE POR
atmosfera	kPa	1,013 250 x 10^{2}
bar	kPa	100
dyne	N	1,000 000 x 10^{-5}
dyne.cm	N.m	1,000 000 x 10^{-7}
erg	J	1,000 000 x 10^{-7}
ft (foot, pé)	m	3,048 000 x 10^{-1}
ft^2	m^2	9,290 304 x 10^{-2}
ft^3	m^3	2,831 685 x 10^{-2}
ft/min	m/s	5,080 000 x 10^{-3}
ft.lbf	J	1,355 818
ft^2/h	m^2/s	2,580 640 x 10^{-5}
ft^3/min (cfm)	m^3/s	4,719 474 x 10^{-4}
galão (para líquidos amer.)	m^3	3,785 412 x 10^{-3}
grau (de ângulo)	rad	1,745 329 x 10^{-2}
hp (550 ft.lbf/s)	W	7,456 999 x 10^{2}
in	m	2,540 000 x 10^{-2}
in^2	m^2	6,451 600 x 10^{-4}
in^3	m^3	1,638 706 x 10^{-5}
in/s	m/s	2,540 000 x 10^{-2}
in^3/min	m^3/s	2,731 177 x 10^{-7}
kgf (em alemão: kiloponel = kp)	N	9,806 650
kgf.m	N.m	9,806 650
kgf/cm^2	kPa	9,806 650 x 10^{+1}

FATORES DE CONVERSÃO DE UNIDADES

PARA CONVERTER DE:	PARA	MULTIPLIQUE POR
kgf/mm^2	MPa	9,806 650
km/h	m/s	2,777 778 x 10^{-1}
kW.h	J	3,600 000 x 10^{6}
lb	kg	4,535 924 x 10^{-1}
lbf	N	4,448 222
$lb.ft^2$	$kg.m^2$	4,214 011 x 10^{-2}
$lb.in^2$	$kg.m^2$	2,926 397 x 10^{-4}
lb/ft^2	kg/m^2	4,882 428
lb/ft^3	kg/m^3	1,601 846 x 10
lb/h	kg/s	1,259 979 x 10^{-4}
lb/in^3	kg/m^3	2,767 990 x 10^{4}
lb/s	kg/s	4,535 924 x 10^{-1}
litro	m^3	1,000 000 x 10^{-3}
milha	m	1,609 3 x 10^{3}
milibar	Pa	1,000 000 x 10^{2}
onça	kg	2,834 952 x 10^{-2}
poise	Pa.s	1,000 000 x 10^{-1}
psi (lbf/in^2)	kPa	6,894 757
tonelada (força 2000 lbf)	kN	8,896 444
torr (torricelli, mmHg a 0ºC)	Pa	1,333 22 x 10^{2}

Anotações

Anotações

Anotações

MAHLE

Driven by performance

www.mahle.com.br

Fevereiro/2012